



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Biológicas

Escuela Profesional de Ciencias Biológicas

**Caracterización anatómica del desarrollo de la raíz
reservante de *Ipomoea batatas* (L.) Lam.**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Biólogo con mención Botánica

AUTOR

Manuel Jesús MARÍN BRAVO

ASESOR

Eleucy PÉREZ TUESTA

Lima, Perú

1997



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Marín, M (1997). *Caracterización anatómica del desarrollo de la raíz reservante de Ipomoea batatas (L.) Lam.* Tesis para optar el título/grado de Biólogo con mención Botánica. Escuela Profesional de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

CONTENIDO

| | Pag. |
|---|------|
| Agradecimientos | |
| 1. Resumen | 5 |
| 2. Introducción | 8 |
| 3. Antecedentes | 11 |
| 4. Materiales y Métodos | 14 |
| 4.1. Materiales | 14 |
| 4.1.1. Material de campo | 14 |
| 4.1.2. Material de vidrio | 14 |
| 4.1.3. Reactivos | 14 |
| 4.1.4. Colorantes | 15 |
| 4.1.5. Instrumental | 15 |
| 4.2. Métodos | 15 |
| 4.2.1. Obtención del material vegetal | 15 |
| 4.2.2. Sembrado de los esquejes | 16 |
| 4.2.3. Realización de los muestreos | 16 |
| 4.2.4. Evaluación anatómica | 17 |
| 4.2.4.1. Fijación de las muestras | 17 |
| 4.2.4.2. Preparación de láminas histológicas | 17 |
| 4.2.4.3. Cortes a mano | 17 |
| 4.2.4.4. Cortes a micrótopo | 17 |
| 4.2.4.5. Observación de láminas histológicas | 18 |
| 5. Resultados | 19 |
| 5.1. Aspectos morfométricos del crecimiento de las raíces | 19 |
| 5.2. Formación de las raíces adventicias | 20 |
| 5.3. Crecimiento primario de las raíces | 21 |
| 5.4. Crecimiento secundario de las raíces | 22 |
| 5.5. Inicio del proceso de engrosamiento | 23 |
| 5.6. Desarrollo de la raíz reservante | 24 |

| | | |
|-------|--------------------------------------|----|
| 6. | Discusión | 27 |
| 6.1. | Morfometría | 27 |
| 6.2. | Desarrollo de los tejidos de la raíz | 29 |
| 7. | Conclusiones | 34 |
| 8. | Recomendaciones | 35 |
| 9. | Ilustraciones | 36 |
| 10. | Referencias Bibliográficas | 50 |
| 11. | Anexos | 55 |
| 11.1. | Tablas | 56 |
| 11.2. | Gráficos | 63 |

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. M.Sc. Luis E. Diaz M., del Departamento de Genética del Centro Internacional de la Papa (CIP) por su invaluable ayuda en la realización de la parte experimental.

A la Blga. M.Sc. Mery L. Suni N., del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la UNMSM, por su constante apoyo y comprensión y la oportunidad de realizar este trabajo de investigación.

A la Dra. Eleucy Pérez Tuesta, del Laboratorio de Anatomía y Farmacognosia Vegetal de la UNMSM, por su apoyo, acertado asesoramiento y valiosos consejos que hicieron posible la redacción de este trabajo.

El autor desea además expresar su sincero agradecimiento a las siguientes personas :

A los profesores José Pino G. y Teodoro Amoroto C. por las facilidades brindadas en sus respectivos laboratorios para la realización de la parte experimental.

A los profesores Domingo Iparraguirre L. y Betty Millán S. del Laboratorio de Anatomía y Farmacognosia Vegetal, por su apoyo y oportunos consejos.

A la E.A.P. de Ingeniería Geológica, por las facilidades brindadas por la Unidad de Microscopía para la utilización del microscopio de luz polarizada.

A todas aquellas personas que de una forma u otra hayan contribuido en la realización de este trabajo y,

A la plana docente de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, de quienes recibí una excelente formación académica por la cual estaré siempre agradecido.

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta la caracterización anatómica del desarrollo de la raíz reservante del camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). En el estudio anatómico de la ontogenia de la raíz reservante se enfoca los aspectos iniciales del engrosamiento de la raíz relacionados con los aspectos agronómicos de su cultivo.

La parte experimental consistió en la siembra y muestreos periódicos de 3 variedades de camote (Nacional, Jewel y SR93.440) proporcionados por el Departamento de Genética del Centro Internacional de la Papa (CIP) y desarrollados en la estación experimental de La Molina, en el período Febrero - Junio de 1995. Conforme se realizaron los muestreos las raíces fueron evaluadas de acuerdo a parámetros empleados en análisis de crecimiento (peso fresco-seco, longitud, diámetro, número de raíces), siendo luego fijadas las muestras de raíces para el estudio anatómico. Se efectuaron cortes a micrótopo empleando la técnica de inclusión en parafina, realizándose así mismo cortes a mano. Se realizó un análisis detallado de las variaciones en el desarrollo de los tejidos y mediciones del grosor de la capa suberosa y dimensiones celulares del parénquima reservante y granos de almidón.

Los resultados muestran características diferenciales en los cultivares estudiados, encontrándose diferencias en la producción de raíces reservantes, llegando a producir las variedades Nacional y Jewel más no la variedad SR93.440, que produjo una mayor proporción de raíces fibrosas y tipo lapicero. Por otra parte se encontró en los tejidos de la raíz diferencias en su desarrollo, siendo la presencia de médulas definidas o parcialmente definidas en la estructura primaria de la raíz el aspecto más notorio. Así mismo se observa que el proceso de engrosamiento se inicia con la actividad meristemática en las células de la médula, dando origen a la formación de cámbiums secundarios. Esta actividad se presenta antes o después de terminado el desarrollo completo del xilema primario.

Posteriormente el engrosamiento es reforzado con la actividad del cambium vascular. Por otro lado, la conformación del cambium vascular junto con los cámbiums secundarios en la raíz reservante, así como la producción de raíces reservantes es diferente en las 3 variedades estudiadas. Así mismo se encontraron diferencias notables en el desarrollo del grosor de la capa suberosa de la peridermis y en las dimensiones de los granos de almidón que sugieren ser considerados como parámetros de selección de cultivares experimentales de camote.

Consideraciones prácticas sobre los detalles anatómicos encontrados y las características agronómicas de las raíces son discutidas en detalle. Las características histológicas encontradas tanto en la fase inicial del engrosamiento así como en la raíces reservantes maduras sugieren la posibilidad de considerar a los estudios anatómicos como una herramienta eficaz en la investigación básica del desarrollo de la raíz reservante así como su utilización en la búsqueda de parámetros de selección de cultivares experimentales de camote.

SUMMARY

The anatomical characterization of the development of the storage root of the sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) is studied. The anatomical study is focused on the initial events of the ontogeny of storage root and related to the agronomical aspects.

Two commercial varieties, Nacional and Jewel and one experimental variety, SR93.440, provided by the International Potato Center (CIP) were studied during the growing season (February-June 1995). Data were taken each 10 days during the first 50 days and each 20 days later. The anatomical study of roots samples were carried out by fixing them in Craif (young roots) and FAA (storage roots) then were dehydrated, embedded in paraffin and sectioned with microtome or cut out by hand. The differentiation of root tissues and the increase in parenchyma, starch granules size and phellem thickness were also evaluated.

The results show that the development of storage root started with the meristematic activity in the cells of the pith which gave rise to the secondary cambia. This may appear before or after the complete development of primary xylem. Later the thickening of storage root is complemented with the activity of vascular cambium.

Variations in the differentiation of primary root such as the development of partial or complete pith was found. Likewise varietal differences in the arrangement of the secondary cambia, number of the storage roots and final yield were found, additionally differences in the phellem thickness and starch granules size.

A model of the events during the ontogeny of storage root of sweetpotato and practical considerations of the results are presented. The anatomical characteristics evaluated can be used as selection parameters of the experimental cultivars of sweetpotato in the basic investigations of the development of storage root

2. INTRODUCCION

El camote, boniato o batata (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) está considerado en muchas áreas del mundo como un cultivo importante, por lo que ocupa el sexto lugar a nivel mundial dentro de los cultivos alimenticios, alcanzando una producción de $123,75 \times 10^6$ toneladas métricas. Así mismo ocupa el segundo lugar, después de la papa, en el cultivo de tuberosas y raíces reservantes, con un rendimiento de 14,670 kg/Ha. (FAO, 1993).

Esta planta, nativa de América tropical, ha sido cultivada desde los tiempos precolombinos hasta la actualidad, tanto en América como a nivel mundial, debido a las excelentes cualidades alimenticias y agronómicas que posee, así como a su empleo como materia prima para diversos productos industriales. Actualmente es considerado como un cultivo de subsistencia para las poblaciones marginales de los países en vías de desarrollo (Purseglove, 1987; Achata et al. 1990; Montalvo, 1991).

No obstante, la abundante información obtenida de las investigaciones realizadas hasta la fecha sobre su cultivo, ésta no está acorde con la importancia del mismo (Bouwkamp y Kays, 1985); en la actualidad se está estudiando aspectos generales de esta planta, centrándose especialmente los estudios en los aspectos fisiológicos de su cultivo, en el rendimiento de las raíces reservantes, y en el mejoramiento genético, con tendencia a introducir nuevas y mejores variedades aptas para el consumo alimenticio e industrial (Austin, 1988; Buendía, 1993; Cascon et al. 1984a). A esto se agregan los estudios acerca del desarrollo de la raíz así como a sus aspectos bioquímicos y nutricionales como también al estudio de las diferentes plagas que lo afectan (Wilson y Lowe, 1973; Madamba, 1975; Hahn y Hozyo, 1983; Kays, 1991; Larenas y López, 1994).

En el Perú, a los aportes realizados por el Ing. Del Carpio sobre el mejoramiento de variedades de camotes de la costa (citado por Achata et al. 1991), se han sumado los de instituciones nacionales como el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) e internacionales como el Centro Internacional de la Papa (CIP), siendo este último, el que a partir de la década de los ochenta, dedica prioridad a los estudios sobre este cultivo, como parte del creciente interés sobre el estudio y fomento de los cultivos de subsistencia en las áreas en crisis alimentaria en el mundo; estudios que en parte tienden al desarrollo de variedades de alto rendimiento, aptos por sus características agronómicas de desarrollarse en las diferentes condiciones de cultivo.

Dentro de la multiplicidad de los estudios realizados, que han contribuido a un mejor conocimiento de este cultivo, han sido los anatómicos los que han ocupado un lugar relevante, contribuyendo significativamente en la comprensión de los diversos procesos que acontecen en el desarrollo de la planta, especialmente en el desarrollo de la raíz reservante. Una característica resaltante de estos estudios anatómicos es que han permitido el esclarecimiento de procesos claves en el desarrollo de la raíz y su interacción con el resto de la planta, los mismos que han sido realizados casi exclusivamente en el extranjero, en Norteamérica y Asia principalmente; habiendo empleado así mismo, las diversas variedades desarrolladas en esos ambientes.

En el Perú, existen pocos trabajos referentes a estudios anatómicos de las diversas variedades que se cultivan en nuestro medio; esto es preocupante por cuanto se ha demostrado la importancia de este tipo de estudios para la caracterización de las variedades en lo referente al desarrollo de esta planta, dependiente de la interacción de varios factores tanto intrínsecos como extrínsecos, debido a la gran variabilidad en su desarrollo. Es por ello que en el presente trabajo se estudia la caracterización anatómica del desarrollo de la raíz reservante, a partir de variedades representativas;

estudio enfocado especialmente en los aspectos histológicos de la fase inicial del engrosamiento de la raíz y en la evaluación de los aspectos anatómicos relacionados con las características agronómicas de las raíces reservantes, teniendo los siguientes objetivos :

1. Caracterizar el desarrollo de la raíz reservante de *Ipomoea batatas* (L.) Lam. En 3 variedades de camote.
2. Comparar los estadios iniciales del proceso de engrosamiento que tiene lugar en las raíces reservantes en tres variedades de camote (dos comerciales y una experimental).
3. Relacionar los aspectos anatómicos presentes en el desarrollo de la raíz reservante con sus cualidades anatómicas)

3. ANTECEDENTES

Los primeros estudios anatómicos de la raíz reservante que se registraron son los de Mc Cormick (citado por Wilson, 1970) y los de Artschwager (1924) quienes realizaron una detallada caracterización de la estructura anatómica de la raíz, incluyendo los primeros detalles de su formación; esto era de especial importancia en aquel tiempo por cuanto se discutía la naturaleza del órgano reservante, dudándose si era raíz o tallo. Los estudios de Artschwager determinaron finalmente en forma concluyente la naturaleza radical del órgano, basándose principalmente en la estructura estelar (desarrollo centrípeto del xilema) (Hayward, H. 1938).

Posteriormente los estudios derivaron hacia la comprensión del proceso que determina la formación de la raíz reservante, resaltándose en primer lugar los estudios de Togari (Citado por Wilson, 1970) quién efectuó un detallado estudio anatómico de los diferentes tipos de raíces (jóvenes gruesas o delgadas, fibrosas y tipo lapicero) así como de la formación de la raíz "tuberosa", encontrándose que las principales diferencias en el desarrollo de las raíces se dan a nivel de la actividad cambial, el grado de lignificación de la estela y la marcada influencia de las condiciones ambientales en el temprano desarrollo de la raíz, presentando además como aspectos resaltantes la presencia de una "vaina parenquimática", precursora del engrosamiento de la raíz, así como la temprana aparición de cámbiumes anómalos en su desarrollo; por lo que afirmó además que la raíz "tuberosa" tiene su origen en las jóvenes raíces gruesas, típicamente de xilema tipo hexarca o pentarca, corroborando lo aseverado por Artschwager en su estudio de variedades norteamericanas.

A Togari le siguieron varios autores (Ito, 1947; Wilson, 1970; Wilson y Lowe, 1973; Lowe y Wilson, 1974; Bouwkamp y Kays, 1985; Kays, 1982, entre otros) los que han logrado importantes avances en el conocimiento de los aspectos bioquímicos y fisiológicos de la "tuberización" de la raíz, especialmente referidos a

las variedades asiáticas de camote.

El término "tuberización", que alude a la formación de la raíz "tuberosa" se consolida en los importantes trabajos de Wilson (1970) quien realizó estudios anatómicos detallados de los diferentes cultivares que se desarrollan en el Caribe, encontrando importantes diferencias en lo que se refiere a los detalles del inicio del engrosamiento ("iniciación tuberosa"), además de las evidencias anatómicas relacionadas con el rendimiento de las mismas (Wilson y Lowe, 1973); agregándose a éstos, estudios que relacionan los aspectos claves del desarrollo de la raíz con la fisiología del cultivo (Lowe y Wilson, 1974).

Con estas investigaciones se ha logrado una mejor comprensión de los procesos que determinan el carácter reservante de la raíz. No obstante, existen aún controvertidas diferencias en cuanto a los términos de "tuberización" y "raíz tuberosa", que aluden a una semejanza con órganos tuberosos, siendo el camote una raíz y no un tallo, esto fue especialmente argumentado por Kays (Kays et al. 1991; Wilson y Wickham, 1991; Huaman, 1992).

Por otra parte Schalk et al. (1986) encontraron una significativa relación entre la resistencia al ataque de determinados insectos y el mayor grosor de la capa suberosa de cultivares americanos. Resultados similares fueron obtenidos por otros autores (Zuincho, 1990; Decheco, 1993). Otros estudios resaltan la importancia de esta capa suberosa en el tratamiento post-cosecha del camote (Ojijo, 1991). Estudios preliminares en la caracterización de raíces reservantes de algunos cultivares fueron realizados por Marín (1994) encontrando aspectos anatómicos destacados, como la gruesa capa suberosa en la peridermis de la variedad Nacional, la presencia de granos de almidón de mayores dimensiones, así como la disposición particular de los tejidos característicos en algunos de los cultivares estudiados. Los estudios de Marín (1994) y Suni y Marín (1994) mostraron que algunas de las evidencias anatómicas encontradas (grosor de la capa suberosa, la disposición particular de los tejidos) pueden servir de parámetros de selección. Las evidencias reunidas hasta la fecha indican una carencia de información básica

acerca de los detalles histológicos del engrosamiento de la raíz reservante en los cultivares desarrollados en nuestro país. La importancia de evidenciar caracteres histológicos de las raíces reservantes, que puedan contribuir a un mejor conocimiento de los mismos, hace relevante la caracterización anatómica del desarrollo de estas raíces.

4. MATERIALES Y METODO

4.1. MATERIALES:

4.1.1. Materiales de Campo:

- 4.1.1.1. Trinchas, lampas
- 4.1.1.2. Bolsas de plástico
- 4.1.1.3. Reglas
- 4.1.1.4. Balanzas de campo

4.1.2. Material de Vidrio:

- 4.1.2.1. Probetas de 90ml/50ml
- 4.1.2.2. Beakers de 50 y 100ml
- 4.1.2.3. Frascos de vidrio de 250 y 500ml
- 4.1.2.4. Frascos viales de 20ml
- 4.1.2.5. Frascos coping de 90 ml.

4.1.3. Reactivos:

- 4.1.3.1. Alcohol etílico 100°
- 4.1.3.2. Alcohol etílico 96°
- 4.1.3.3. Alcohol terbutílico
- 4.1.3.4. Bálsamo de Canadá
- 4.1.3.5. Xilol
- 4.1.3.6. Parafina sólida (Paraplast)
- 4.1.3.7. Parafina líquida
- 4.1.3.8. Albúmina de Meyer
- 4.1.3.9. Acido crómico
- 4.1.3.10. Formaldehido 40%
- 4.1.3.11. Acido acético glacial

4.1.4. Colorantes

- 4.1.4.1. Safranina, solución alcohólica 50°
- 4.1.4.2. Azul de Anilina, solución alcohólica 96°
- 4.1.4.3. Cristal Violeta, solución alcohólica 96°
- 4.1.4.4. Orange G, solución alcohólica 96°
- 4.1.4.5. Verde de Malaquita, solución alcohólica 100°

4.1.5. Instrumental:

- 4.1.5.1. Estufa eléctrica
- 4.1.5.2. Balanza digital
- 4.1.5.3. Micrótopo rotativo
- 4.1.5.4. Cuchilla de micrótopo
- 4.1.5.5. Microscopio compuesto
- 4.1.5.6. Microscopio de luz polarizada
- 4.1.5.7. Microscopio compuesto con cámara incorporada
- 4.1.5.8. Cámara lúcida
- 4.1.5.9. Ocular micrométrico

4.2 METODOS

El desarrollo del presente trabajo comprendió las siguientes etapas :

4.2.1 Obtención del material vegetal : fueron escogidas 3 variedades de camote, bajo la forma de esquejes (trozos de tallo con nudos, de aproximadamente 20 cm de longitud, a partir de los cuales se realiza la propagación) éstos fueron Nacional y Jewel, variedades comerciales existentes en los mercados de consumo, y una variedad experimental (SR93.440). Estas variedades fueron proporcionadas por el Departamento de Genética del Centro Internacional de la Papa (CIP).

4.2.2 Sembrado de los esquejes : la siembra se realizó en la estación experimental del CIP, en el distrito de La Molina, en el mes de Febrero de 1995, empleando un diseño experimental aleatorio, para lo cual se empleó un área de 147,06 m². Se sembraron 900 esquejes correspondientes a las 3 variedades (300 esquejes por variedad), dispuestos en surcos de 6 m de longitud, en donde los esquejes fueron separados 30 cm entre uno y otro; así mismo, los surcos mantuvieron una distancia de 1 m entre ellos. La realización del recalce no fue necesario dado que los esquejes respondieron satisfactoriamente a la siembra y el número de plantas se mantuvo constante a lo largo del desarrollo del cultivo.

4.2.3 Realización de los muestreos : se realizaron 7 muestreos básicos en el área sembrada, los cuales fueron efectuados en un período de 5 meses (Febrero - Junio 1995), más un muestreo realizado en la cosecha de los raíces reservantes. Estos muestreos fueron llevados a cabo a partir de los 10 días después de plantado (ddp) los esquejes, hasta la 5ta. evaluación en secuencias de 10 días y a partir de la 6ta. evaluación en secuencias de 20 días.

En cada muestreo se evaluaron 9 plantas por variedad, haciendo un total de 27 plantas, en los que se registraron :

1. Desarrollo del engrosamiento de la raíz.
2. Número total de raíces, jóvenes (gruesas) y reservantes.
3. Diámetro de raíces gruesas y reservantes.
4. Peso fresco y seco de raíces jóvenes y reservantes.

Adicionalmente se registró :

- Peso total de la planta.
- Peso fresco parte aérea.
- Peso fresco parte radical.

4.2.4 Evaluación Anatómica

4.2.4.1 Fijación de las muestras : se muestrearon 9 plantas por variedad, haciendo un total de 27 plantas, de las que se separaron sus raíces (en número de 27 por variedad), siendo lavadas y fijadas en soluciones de Craff III (Johansen, 1940; Berlyn and Miksche, 1976) de la 1ra. a la 4ta. evaluación y en FAA (Ac. acético, formaldehído, alcohol 96°) de la 5ta. a la 8va. evaluación, como paso previo a la elaboración de las láminas histológicas; posteriormente todas las muestras fueron almacenadas en alcohol etílico 70°.

Las muestras de raíces fueron separadas para su estudio en las siguientes partes: sección proximal, sección media, sección distal y la porción de la raíz que se conecta al tallo (pedúnculo); también fue separado el nudo, porción del tallo del cual emergen las raíces.

4.2.4.2 Preparación de láminas histológicas : como paso previo al estudio anatómico, se procedió a la preparación de láminas histológicas, siguiendo para ello 2 procedimientos :

4.2.4.2.1 Cortes a mano : efectuados con las muestras de raíces de las 1ra. a la 4ta. evaluación, en secciones transversales y longitudinales, por medio de la inclusión de las mismas en Agar 5% para facilitar el corte (según Johansen, 1940). Para la coloración se emplearon las tinciones de Safranina, Verde de Malaquita, Cristal Violeta y Azul de Anilina, preparándose láminas temporales en glicerina fenicada al 1%. Adicionalmente se cortaron secciones de raíces reservantes adultas (8va. evaluación) de aproximadamente 4 mm de espesor de la porción media de la raíz y teñidos con Safranina para la observación de los tejidos a menor aumento.

4.2.4.2.2 Cortes a micrótopo : realizados con las muestras de raíces jóvenes (gruesas) y raíces reservantes, por medio de la inclusión en parafina de las

mismas (según Johansen, 1940). Las raíces gruesas fueron cortadas previamente en secciones de 1 cm de longitud mientras que las reservantes, en secciones de 1 cm de longitud por 0,5 cm de ancho, según la metodología establecida por Marín (1994).

Dada la diferencia en edad y consistencia que presentaron las raíces de diferentes fechas de evaluación, se emplearon 2 variantes en la técnica de inclusión :

- Una consistente en el empleo de una serie de alcoholes etílico-xilol y parafina, ya estandarizada para raíces reservantes (Marín, 1994), y
- Una segunda batería de alcoholes etílico-terbutílico y parafina, para raíces jóvenes y reservantes.

Las muestras incluídas fueron seccionadas en un micrótopo rotativo, a 20 y 25 micras de espesor; para la coloración se utilizaron Safranina, Azul de Anilina, Cristal violeta y Orange G, empleando para ello una variante de la tinción de Johansen (Johansen, 1940), seguido de montaje en Bálsamo de Canadá.

Las láminas histológicas preparadas, temporales y permanentes, hicieron un total de 351 muestras (243 de la 1ra. a la 3ra. evaluación y 108 de la 4ta. a la 8va. evaluación).

4.2.4.3 Observación de láminas histológicas : obtenidas las láminas histológicas, permanentes y temporales con ellas se procedió a la observación y caracterización de las variaciones en el desarrollo de los tejidos de las diferentes variedades (a 51.2, 160, 640 y 1600 aumentos), considerándose además la medición de los siguientes parámetros : dimensiones celulares de la peridermis, zona cortical y medular, granos de almidón y drusas de oxalato de calcio. Se utilizó para las mediciones un ocular micrométrico, se tomaron fotografías, película Kodak asa 100, graficándose las observaciones con ayuda de una cámara lúcida.

5. RESULTADOS

5.1 ASPECTOS MORFOMETRICOS DEL CRECIMIENTO DE LAS RAICES

El número total de raíces en las 3 variedades fue en aumento progresivo, con tendencia a estabilizarse a partir de los 40 ddp. La producción de raíces adventicias se concentró en los nudos inferiores, con una mayor proporción de raíces delgadas en los primeros días. En las variedades Nacional y SR93.440, el número de raíces gruesas fue parejo y mayor que el de la variedad Jewel, que desarrolló pocas raíces gruesas en los primeros 10 días, no obstante esta última variedad tuvo un significativo incremento a partir de los 30 ddp., llegando a igualar a las otras variedades. Así mismo, el diámetro de las raíces gruesas en las 3 variedades aumentó gradualmente durante los primeros 20 días para luego observarse el incremento de algunos de ellos rápidamente a partir del primer mes de desarrollo (30 ddp). Las raíces de la variedad Jewel se caracterizaron por su rápido incremento en diámetro durante las primeras semanas, seguida de cerca por la variedad Nacional, en cambio la variedad SR93.440, a partir de los 30 días empezó a decrecer en diámetro notoriamente (Tabla 1).

El incremento en longitud de las raíces gruesas en las 3 variedades alcanzó un máximo a los 40 ddp, observándose el desarrollo de pigmentación en las raíces que completaron su desarrollo en longitud, resultando completamente pigmentadas después del primer mes de desarrollo. Las raíces reservantes aparecieron a los 30 ddp, en las variedades Nacional y Jewel, siendo reconocibles por la zona de engrosamiento localizado, generalmente en la parte central o subpróxima de la raíz. A partir de su aparición, el incremento en número y diámetro fue progresivo (Fig. 5) distinguiéndose la variedad Nacional, por el bajo número de raíces reservantes por planta y el rápido aumento en diámetro de las mismas. La variedad Jewel desarrolló un mayor número de raíces reservantes, pero su aumento fue

gradual, lo mismo que su diámetro, ligeramente inferiores al de la variedad Nacional. Contrariamente, la variedad SR93.440 casi no desarrollo raíces reservantes y sí en cambio una alta proporción de raíces fibrosas y tipo lapicero. La producción de raíces reservantes por planta fue progresiva y alcanzó a ser estable en las variedades Nacional y Jewel a los 50 y 90 ddp. respectivamente, siendo el diámetro promedio alcanzado en las raíces reservantes de ambas variedades de 75 mm (132 ddp). Las características morfológicas de las raíces reservantes son presentadas en la Tabla 5.

5.2 FORMACION DE LAS RAICES ADVENTICIAS

Las raíces adventicias en las 3 variedades tienen su origen principalmente a nivel de los nudos del tallo (esqueje); si bien el desarrollo de las mismas no siempre esta limitado a esta zona, ya que se pudo observar su desarrollo en las zonas adyacentes, las cuales presentaron una mayor proporción de raíces delgadas.

La diferenciación de las raíces se presenta en forma de primordios diferenciados previamente en la zona cortical (Foto 1), que comienzan a desarrollarse desde los primeros días, o bien se originan en las vecindades del tejido vascular y por lo general, ubicados lateralmente a las trazas foliares. En este último modo de diferenciación, la actividad meristemática determina que el cilindro vascular del tallo se separe debido a la proliferación de células hacia el exterior, quedando, a ambos lados, el tejido conductor abierto. Conforme se da el crecimiento de las células, se realiza la diferenciación de las mismas, observándose después de la zona apical definida, las primeras células floemáticas y vasos xilemáticos.

En varias raíces de las variedades Nacional y SR93.440, fue observada la diferenciación de una zona parenquimática al centro de los tejidos vasculares, en otras en cambio, la diferenciación del tejido vascular ocupó todo el centro de la naciente estela. Las raíces de la variedad Jewel presentaron mayormente los tejidos vasculares ya diferenciados en el centro de la estela.

5.3 CRECIMIENTO PRIMARIO DE LAS RAICES

Las raíces de las variedades evaluadas presentaron en un primer estadio (10 ddp) un crecimiento primario definido, desarrollando estelas con xilema de tipo hexarca, pentarca y heptarca, con un marcado predominio del primero (Fig.1), aunque también se registraron raíces con estelas dobles y algunas tetrarcas. En su estructura primaria, las raíces gruesas de las variedades presentaron 2 tipos de diferenciación, a nivel del cilindro vascular, claramente distinguibles. En una, las raíces presentaron un xilema completamente desarrollado (Foto 2), con células metaxilemáticas en número de hasta 3 ocupando el centro del cilindro vascular; los polos floemáticos adyacentes a los del protoxilema se presentaron asociados a tubos laticíferos primarios. No se observó el desarrollo de parénquima medular o éste fue muy reducido. Este tipo de diferenciación fue particularmente característico de la variedad Jewel. El otro tipo de diferenciación se caracterizó por la presencia en el cilindro vascular de una médula definida (Foto 3), asociado a las variedades Nacional y SR93.440, en raíces con xilema de tipo hexarca y heptarca, en las que los elementos xilemáticos primarios están incompletamente desarrollados y el centro del cilindro vascular presentó un grupo de células parenquimáticas definidas. En otras raíces se observó el desarrollo parcial de éste parénquima (Fotos 4 y 8), presentando un xilema parcialmente desarrollado, incluso células metaxilemáticas centrales aun no lignificadas.

En ambos tipos de diferenciación, las células del periciclo se ordenaron en los contornos del cilindro vascular, circundados por una endodermis definida. La corteza primaria presenta células isodiamétricas, dispuestas ordenadamente en capas radialmente concéntricas, presentando característicos espacios esquizógenos (especialmente en las variedades Nacional y SR93.440) (Foto 2).

En las células corticales primarias se registró la presencia temprana de granos de almidón (10 ddp) de diámetro pequeño y forma irregular (Foto 10) y también un escaso número de drusas de oxalato de calcio. Rodeando a la corteza primaria, se

desarrolló una epidermis de células conspicuamente grandes casi tanto como las células corticales. En la región proximal de la raíz, la presencia de la médula fue notoria en las raíces que la presentaron, no obstante se observó en las mismas una temprana diferenciación de elementos xilemáticos en el cilindro vascular, de forma tal que esta parte de la raíz tuvo la tendencia a una rápida lignificación. De igual modo, la región distal presentó un rápido desarrollo del xilema, lignificándose tempranamente el centro del cilindro vascular (Foto 5).

5.4 CRECIMIENTO SECUNDARIO DE LAS RAICES

Al presentar las raíces de las variedades un promedio en diámetro de 1,2 mm estas mostraron las características de un crecimiento secundario definido, marcado por la formación del cambium vascular y tejidos secundarios; al empezar la actividad del periciclo la expansión de la estela comenzó a ser notoria.

El desarrollo de los tejidos al interior del cilindro vascular presentó caracteres diferenciales. En las raíces que tienen un completo desarrollo del xilema, el crecimiento secundario condujo a una lignificación del cilindro vascular, a excepción de aquellas zonas en las que están definidos claramente los radios medulares; en algunas raíces esta lignificación no fue total, de modo que se observaron algunas células parenquimáticas en el centro del cilindro vascular; esto fue característico de las raíces de la variedad Jewel; en cambio, en aquellas raíces con desarrollo de médula, el crecimiento secundario llevó a un mayor desarrollo del parénquima medular, lo cual conjuntamente con la actividad del cambium vascular condujo a una separación del cilindro vascular por uno de sus polos, separándose ampliamente los elementos xilemáticos (Fotos 7 y 8).

Por otro lado, externamente al cambium vascular, el desarrollo de la corteza secundaria no presentó los característicos espacios esquizógenos; sus células regularmente isodiamétricas comenzaron a almacenar regulares cantidades de granos de almidón, en su mayor parte, agregados, de pequeño diámetro y de

formas características: esféricos y poliédricos, por lo general adosados a las paredes celulares. Durante este período, el crecimiento secundario determinó el engrosamiento uniforme de la raíz, y tanto en las regiones proximal y distal el crecimiento se delimitó tempranamente. La región proximal presentó un xilema completamente desarrollado y característicos radios medulares mientras que la región distal presentó una total lignificación del cilindro vascular (Foto 6).

5.5 INICIO DEL PROCESO DE ENGROSAMIENTO

El desarrollo de la raíz reservante comenzó a definirse a los 30 ddp, cuando las raíces de las 3 variedades tuvieron un promedio de 2,21 mm . En raíces con xilema completamente desarrollado, al tiempo que los radios medulares lograron separar ampliamente a los elementos xilemáticos, se inició una inusitada actividad meristemática en zonas adyacentes a los vasos xilemáticos, que presentándose en forma de bandas tangenciales o contornos circulares rodearon a los vasos centrales del xilema y produjeron activamente células parenquimáticas. En raíces con xilema de desarrollo incompleto, los radios medulares confluyeron con las células medulares, de modo tal que el arreglo original de los elementos xilemáticos primarios y secundarios comenzó a ser modificado progresivamente por una continua separación de los mismos.

La activa producción de parénquima reservante en el centro del cilindro vascular fue reforzada con la aparición de una actividad meristemática en torno a los vasos del xilema que, al igual que en el caso anterior, produjeron activamente parénquima reservante y tejidos vasculares. La actividad del cambium vascular contribuyó a la expansión del cilindro vascular con la producción de tejido secundario (xilema y parénquima xilemático), produciendo hacia el exterior floema y abundante parénquima floemático; los vasos xilemáticos producidos se dispusieron en filas radiales hacia el interior de la médula, mientras que hacia el exterior, las células cribosas fueron apenas distinguibles debido a la mayor producción de parénquima reservante; las células corticales adyacentes al cambium vascular formaron la

llamada corteza interna (para distinguirla de las células corticales producidas en un primer momento por la actividad del periciclo) las mismas que presentaron una relativa mayor cantidad de granos de almidón en sus células. Así mismo una mayor producción de granos de almidón caracterizó en esta etapa al parenquima medular producido hacia el interior por la actividad del cambium vascular, distinguiéndose del parénquima reservante producido por la actividad de los cámbiumes secundarios, que por lo general en ésta etapa fueron de menores dimensiones y presentaron pocos granos de almidón.

El inicio del engrosamiento y el avance progresivo del crecimiento secundario fueron similares en las raíces de las 3 variedades; al colapso de la epidermis y endodermis, siguió el estrechamiento de la corteza primaria, reducida a 2 ó 3 capas celulares y ya sin granos de almidón. En la parte externa de la corteza secundaria se observó la diferenciación del felógeno y las divisiones preparatorias para dar origen a la capa suberosa.

5.6 DESARROLLO DE LA RAÍZ RESERVANTE

Después del estadio marcado por la aparición de la actividad meristemática anómala, avanza progresivamente la producción de parénquima reservante; tanto las células corticales como las medulares continúan su proliferación y crecimiento, aunque menos acentuado y al final limitado en las primeras. Un progresivo hinchamiento en la parte subproximal de la raíz fue observado.

En el desarrollo de la raíz reservante, en un primer momento, la mayor cantidad de parénquima reservante producido fue originado por el cambium vascular, luego conforme progresó el crecimiento, la diferenciación de los cámbiumes secundarios y aun terciarios (estos últimos originados de la actividad de los cámbiumes secundarios) originaron una mayor producción de parénquima reservante, más tejidos vasculares y tubos laticíferos en la médula; las células producidas tanto por ellos como por el cambium vascular comenzaron a almacenar cantidades crecientes

de granos de almidón. Este desarrollo fue progresivo y se tornó uniforme a lo largo de la longitud del órgano, limitándose tempranamente en las regiones distal y proximal, debido a la rápida lignificación del cilindro vascular.

El tejido parenquimático producido por el cambium vascular se distinguió por su arreglo ordenado y por lo general por sus dimensiones pequeñas, constituyendo la médula externa. Hacia el interior, en la médula interna, las células presentaron un aspecto desordenado, característico del parénquima reservante producido por los cámbiums secundarios y terciarios; las células parenquimáticas producidas llegaron a tener mayores dimensiones celulares que las células medulares externas (Tabla 2) conteniendo por lo general granos de almidón de mayores dimensiones (Foto 14). Las mayores dimensiones del almidón fueron registradas en raíces de la variedad Nacional, especialmente localizados en la médula interna (Tabla 3).

Los granos de almidón fueron característicos y en su mayoría agregados, sus formas poliédricas se aprecian mejor frente a la luz polarizada. (Foto 14a). El amplio desarrollo de la zona medular difiere notablemente del limitado desarrollo de la corteza, en la cual el parénquima cortical primario termina por colapsarse y plegarse hacia el exterior, uniéndose a las células suberosas de la naciente peridermis; esta corteza primaria es reemplazada en su totalidad por la nueva corteza secundaria, la cual en su parte externa presentó un bajo o nulo contenido en granos de almidón y cantidades regulares de drusas.

La peridermis se diferenció tempranamente (40 ddp), presentando un desarrollo variable a lo largo del período de crecimiento; su parte más interna, la felodermis, se diferenció en una capa de 2 ó 3 células, distinguibles de las células corticales secundarias por su disposición y por lo general de un contenido bajo en granos de almidón (Foto 11). El aumento en grosor de la capa suberosa fue gradual y variable, alcanzando su máximo valor en la variedad Nacional, en cambio tanto en las variedades SR93.440 y Jewel, su desarrollo fue mucho menor (Tabla 4). Los haces vasculares producidos por el cambium vascular presentaron una disposición

radial, resultando visibles a simple vista los vasos xilemáticos, siendo la característica particular la de tener abundante parénquima reservante.

Hacia el interior, en la médula interna, los haces vasculares producidos por los cámbiumes secundarios y terciarios se presentaron esparcidos, siendo su disposición, lo mismo que los cámbiumes, característicos y diferentes para las variedades Nacional y Jewel. Estos cámbiumes secundarios tuvieron una disposición concéntrica o en forma de bandas tangenciales, siendo la variedad Jewel la que presentó una mayor proporción de ellos, concentrados especialmente en la parte central de la médula.

Las regiones adyacentes a la zona engrosada presentaron un desarrollo secundario característico; la temprana lignificación del cilindro vascular en las regiones proximal y distal delimitaron el crecimiento longitudinal de la raíz reservante; esto fue más acentuado en raíces de la variedad Jewel, que desarrolló raíces reservantes oblongas, en cambio la variedad Nacional produjo raíces reservantes alargadas. La región peduncular tuvo las características de región de transición, en las que el desarrollo del tejido floemático secundario y los radios medulares fueron los aspectos mas notorios.

6. DISCUSION

6.1 MORFOMETRIA

La variación en el crecimiento de las raíces tuvo caracteres diferenciales a lo largo de su desarrollo. Se encontró que en las variedades evaluadas, las raíces gruesas presentaron un incremento en número y diámetro en los primeros 40 ddp; el desarrollo de las primeras raíces reservantes se dio en el primer mes de desarrollo (30 ddp) determinándose a partir de entonces la transformación de las raíces gruesas en reservantes.

Se encontró, acorde a lo considerado por Hahn y Hozzo (1983) en la clasificación de las raíces del camote, que las primeras (raíces fibrosas) se identificaron como derivadas de aquellas raíces delgadas, caracterizadas por su estructura estelar de xilema tipo tetrarca, encontrándose en este estudio que también pueden derivarse, en considerable proporción, de aquellas raíces gruesas que no llegaron a iniciar el proceso de engrosamiento, presentando en su lugar un típico desarrollo secundario, este hecho no es reportado mayormente en la bibliografía (Wilson y Lowe, 1973; Wilson, 1982; Bouwkamp y Kays, 1985). Las diferencias que pudiesen presentar este tipo de raíz en su desarrollo, se limitan básicamente al desarrollo estelar y cortical, completamente secundarios, y no justifican una denominación para cada variante - desde el punto de vista anatómico - tal es el caso de las raíces acordonadas (Wilson, 1970) o las raíces fibrosas primarias (Bouwkamp y Kays, 1985) siendo ambos tipos considerados en este estudio como raíces fibrosas.

Las raíces tipo lapicero hicieron su aparición tempranamente en la variedad SR93.440 (50 ddp), siendo en cambio registradas tardíamente en las variedades Nacional y Jewel (70 ddp). En el caso de la primera, esta aparición es un claro indicio de la temprana frustración del engrosamiento de las raíces. Es significativo el hecho de que la formación de estos tipos alternativos de raíces (fibrosas y

lapiceros) coincidan con el descenso de la temperatura durante el períodos de crecimiento (Tabla 6), siendo más sensible a este factor que las raíces de las variedades Nacional y Jewel. La variedad SR93.440 produce habitualmente raíces reservantes en el valle de San Ramón (selva alta, dpto. de Junín) y el desarrollo de estas raíces reservantes es un ejemplo de una marcada adaptación a determinados factores climáticos (p.e. temperaturas altas) que lo hacen de cierta manera dependiente de la zona agroecológica en donde se desarrollan. Esto presenta una desventaja con respecto a las otras variedades (Nacional y Jewel) que son capaces de formar raíces reservantes tanto en costa como en la selva. El efecto de la temperatura sobre el desarrollo del camote es ampliamente registrado (Scott, 1977; Hahn y Hozzo, 1983; Bouwkamp y Kays, 1985).

El alto porcentaje de raíces fibrosas y tipo lapicero - en mayor o menor grado característicos de los cultivares de camote - puede también ser explicado en base al factor genético implicado en la formación de las raíces y es de hecho una característica cultivar (Wilson, 1982, Hahn y Hozzo, 1983; Bouwkamp and Kays 1985). A la temprana determinación del número de raíces reservantes potenciales, estaría también desempeñando un rol importante la capacidad de la planta para abastecer de fotosintetatos a las mismas - esto último vinculado a la relación sumidero - fuente, entre la raíz (sumidero) y el follaje (fuente) determinando que solo un limitado número de raíces puedan engrosar. A este respecto también se conoce el papel de auxinas y citoquininas en el desarrollo de raíces reservantes (Grace S.C. 1983; Matsuo et al., 1983, 1988; Kays, 1992). Las raíces no reservantes producidas se caracterizaron por un engrosamiento uniforme, de apariencia fibrosa y pequeño diámetro (raíces fibrosas) o de diámetro ligeramente superior y un engrosamiento restringido (raíces tipo lapicero).

La mayor proporción que alcanzaron estos tipos alternativos de raíces con respecto a las reservantes revelaría la limitada capacidad de la planta para abastecer de fotosintetatos a las raíces conducentes a su engrosamiento, limitándose tempranamente el número de raíces reservantes por planta por medio de una temprana lignificación de la estela en las raíces no reservantes.

6.2 DESARROLLO DE LOS TEJIDOS DE LA RAIZ

Las raíces gruesas se caracterizaron por originarse mayormente en el nudo del tallo; se encontró la temprana formación de la médula en las raíces, tanto en los primordios radicales como en las raíces diferenciadas en la zona cambial (sobre todo en estos últimos), registrándose una temprana lignificación del cilindro vascular en determinadas raíces. Las observaciones registradas tienden a confirmar la temprana especialización de las raíces gruesas en raíces reservantes potenciales. Estas se caracterizaron, aparte de su origen, por su estructura estelar (xilemas de tipo hexarca, pentarca o heptarca), estableciendo además una sólida conexión con el sistema vascular del tallo, ubicándose preferentemente a ambos lados de las trazas foliares. Estas se diferenciaron claramente de las raíces delgadas, que se distinguieron por su menor diámetro y su xilema tetrarca completamente desarrollado. Es probable que en esta temprana especialización tengan participación el ácido indol acético (IAA), una auxina de conocido efecto en el incremento de los haces vasculares (Grace sirju-charran, 1983; Wareing y Phillips, 1981; Wilson, 1983).

Histológicamente, el desarrollo del proceso de engrosamiento tuvo connotaciones especiales y hasta diferenciales en las variedades estudiadas, la presencia de médula, tanto parcial como definida claramente fue una característica de nuestros cultivares (Nacional y SR93.440) y no fue requisito para el engrosamiento de las raíces, así como su asociación a estelas de tipo hexarca y heptarca tampoco fue relacionado necesariamente al diámetro de las raíces gruesas, como lo afirmaron Wilson y Lowe (1973). La "vaina parenquimática" tal como lo reportaron varios autores (Artschwager, 1924; Togari, citado por Wilson, 1970; Wilson y Lowe, 1973) no fue registrada en las variedades estudiadas. El hecho de que las raíces de la variedad Jewel llegaran a engrosar demostraría que la pocas células sin lignificar del cilindro vascular (parénquima xilemático) serían capaces de una proliferación celular lo suficientemente activa para desencadenar el proceso de engrosamiento, en esto superó a las variedades Nacional y SR93.440 durante las primeras 2

semanas (20ddp). Las células pre-xilemáticas encontradas en la médula de ciertas raíces de los mismos demostraría también que el inicio del engrosamiento puede frustrarse tan tempranamente como a los 10 ddp., al lignificarse el cilindro vascular, hecho estudiado tempranamente por Togari (citado por Wilson, 1970). A este respecto la delimitación de la médula ocurrió tempranamente, con la lignificación de las células del parénquima xilemático, tanto en el extremo distal como proximal, teniendo en estas zonas un desarrollo secundario típico y delimitando el desarrollo longitudinal de la raíz.

Las observaciones hechas sobre la expansión del cilindro vascular (literalmente abierto por la proliferación de las células medulares) parecería concordar con las aseveraciones de Mc Cormick (Arstchwager, 1924; Wilson y Lowe, 1973) quién afirmó que la iniciación "tuberosa" era mediada por la actividad de las células parenquimáticas adyacentes al xilema completamente desarrollado, determinando un rompimiento del mismo. Varios autores no pudieron confirmar esta afirmación en sus cultivares estudiados (Arstchwager, 1924; Wilson y Lowe, 1973; Togari, citado por Wilson, 1970). Sin embargo, si bien la estela abierta fue una característica de la variedad Nacional (en raíces con estelas de xilema de desarrollo incompleto), en cambio, las raíces de la variedad Jewel se caracterizaron por presentar un alto porcentaje de estelas con un xilema completamente desarrollado (sin médula) y sin embargo desarrolló raíces reservantes; esto concuerda además con el hecho de que la "vaina parenquimatosa" no fue una característica común en otros cultivares estudiados (Wilson, 1970; Wilson y Lowe, 1973). La afirmación de Togari (citado por Wilson y Lowe, 1973) acerca de la médula como un estadio transitorio del desarrollo de la raíz reservante, es probable que haya sido hecha sobre la base de cultivares que desarrollaron una médula definida en sus raíces. Por otra parte, el desarrollo de raíces reservantes por parte de la variedad Jewel demostraría que la "iniciación tuberosa" no siempre precede al completo desarrollo del xilema.

La aparición de la actividad meristemática secundaria en la "iniciación tuberosa" fue tardía con respecto a la proliferación de las células medulares. Se halló su actividad

a partir del primer mes de desarrollo (30 ddp) en las raíces reservantes con caracteres definidos. Pareciera indicar así mismo, que su aparición se daría por la manifiesta incapacidad de la raíz para engrosar con la incipiente actividad proliferante de las células medulares y la todavía escasa actividad del cambium vascular. Por otra parte, la sola actividad de este cambium en raíces reservantes con un crecimiento normal de los tejidos (p.e. zanahoria, *Daucus carota*) no llega a alcanzar las dimensiones que puede lograr la raíz reservante del camote. La frustración de los procesos claves en la "iniciación tuberosa" o en el desarrollo de la raíz reservante, determina la formación de raíces alternativas (raíces fibrosas y tipo lapicero); las raíces tipo lapicero de la variedad SR93.440 no llegaron a engrosar mayormente (aproximadamente 7,3 mm de diámetro, 90 ddp) por el cese de la actividad meristemática secundaria, presentando en su lugar un desarrollo secundario típico.

La secuencia de acontecimientos (Esquemas 2 y 3) en el engrosamiento de la raíz estaría determinada a preparar el ensanchamiento de la estela - mediado por la actividad de las células medulares y en parte por el cambium vascular - para luego marcar la aparición de los cámbiums secundarios (Wilson y Lowe, 1973; Esau, 1977) destinados a prolongar el crecimiento en grosor de la raíz reservante, reforzado luego por la actividad del cambium vascular. Al crecimiento longitudinal, predominante en los primeros estadíos, seguiría luego el crecimiento en grosor, característico de las últimas semanas del desarrollo de la raíz reservante.

Diferencias en la actividad secundaria anómala con respecto a la del cambium vascular determinarían la preponderancia de uno sobre el otro. Visto así, la variedad Jewel se caracterizó por presentar un mayor desarrollo del parénquima reservante producido por el cambium vascular, concentrándose la actividad meristemática secundaria en el centro de la médula, de este modo, las afirmaciones de Wilson (1973) acerca de la contribución del parénquima derivado del cambium vascular al desarrollo de la estela son aquí corroboradas. Un carácter común en las variedades peruanas es que desarrollan un cambium vascular en forma de anillo

circular, característica que determina la forma redondo-elíptica de las raíces reservantes.

Por otro lado es significativo que la mayor cantidad de parénquima reservante producido por la actividad meristemática secundaria en la variedad Nacional estuviese relacionado con su mayor peso y dimensiones por raíz reservante que en la variedad Jewel, que en cambio, concentró la mayor parte de esta actividad en el centro de la médula, produciendo una cantidad relativamente menor de parénquima reservante. Las raíces reservantes de mayor diámetro de esta última variedad tuvieron una disposición de la actividad meristemática secundaria similar a las raíces de la variedad Nacional.

Estos detalles coinciden con lo encontrado por Wilson y Lowe (1973) y sugiere la mayor importancia de la actividad secundaria anómala en el engrosamiento y en la maduración de la raíz reservante. Al desarrollo del parénquima reservante producido por la actividad meristemática secundaria, (que resultó preponderante en el ensanchamiento de la estela) en la variedad Nacional, se encontró además, un marcado incremento en las dimensiones celulares y dimensiones del almidón. Esto representa una ventaja frente a otros cultivares que desarrollan raíces reservantes en donde se presenta una escasa actividad cambial anómala o una mayor actividad (producción de parénquima) del cambium vascular. Además, esta característica ha permanecido relativamente constante desde los primeros estudios realizados con esta variedad (Suni y Marín, 1994).

El desarrollo de la capa suberosa de la peridermis en las variedades evaluadas fue variable a lo largo de su crecimiento. Las raíces de la variedad Nacional destacaron por el mayor grosor de esta capa, debido a las mayores dimensiones y número de capas de las células suberosas comparadas con las otras variedades. Este mayor grosor se mantuvo estable a lo largo de los estudios con esta variedad y nos señala su importancia en la posible resistencia de la raíz frente al ataque de estadíos larvales de insectos (Schalk et al. 1986; Zuincho, R. 1990; Clark, and Moyer, 1991;

Decheco, 1993). Aunque se resalta también la posibilidad de que ciertos componentes químicos de la peridermis pudiesen estar envueltos en esta resistencia (Schalk et al. 1986).

Por otra parte, una capa suberosa relativamente gruesa (cáscara) puede resistir el daño a las raíces reservantes inherente a toda cosecha, manual o mecánica, que lo predispone al ataque de organismos patógenos en sus heridas. Esto de por sí constituye una ventaja frente a otros cultivares de cáscara delgada.

Finalmente, dado que el período de crecimiento de los diferentes cultivares de camote puede extenderse desde períodos cortos de tiempo hasta los relativamente largos (Bouwkamp and Kays, 1985), se encuentra que es posible manejar el desarrollo de las raíces reservantes con diferentes fines de aplicación. Así, en el caso de las variedades Nacional y Jewel, la tendencia en el aumento de las dimensiones de sus raíces reservantes (aumento en materia seca) puede ser usada para la producción de almidón con fines industriales (Madamba et al. 1975; Cascon et al. 1984). Por otro lado, dado que el máximo número de raíces reservantes por planta se puede alcanzar a una etapa temprana (p.e. 90 ddp) pueden realizarse la cosecha de las raíces en un período relativamente corto, obteniendo el desarrollo de raíces reservantes de dimensiones pequeñas e intermedias, particularmente preferidas en el mercado local. (Comunicación Personal de los campesinos del valle de Cañete).

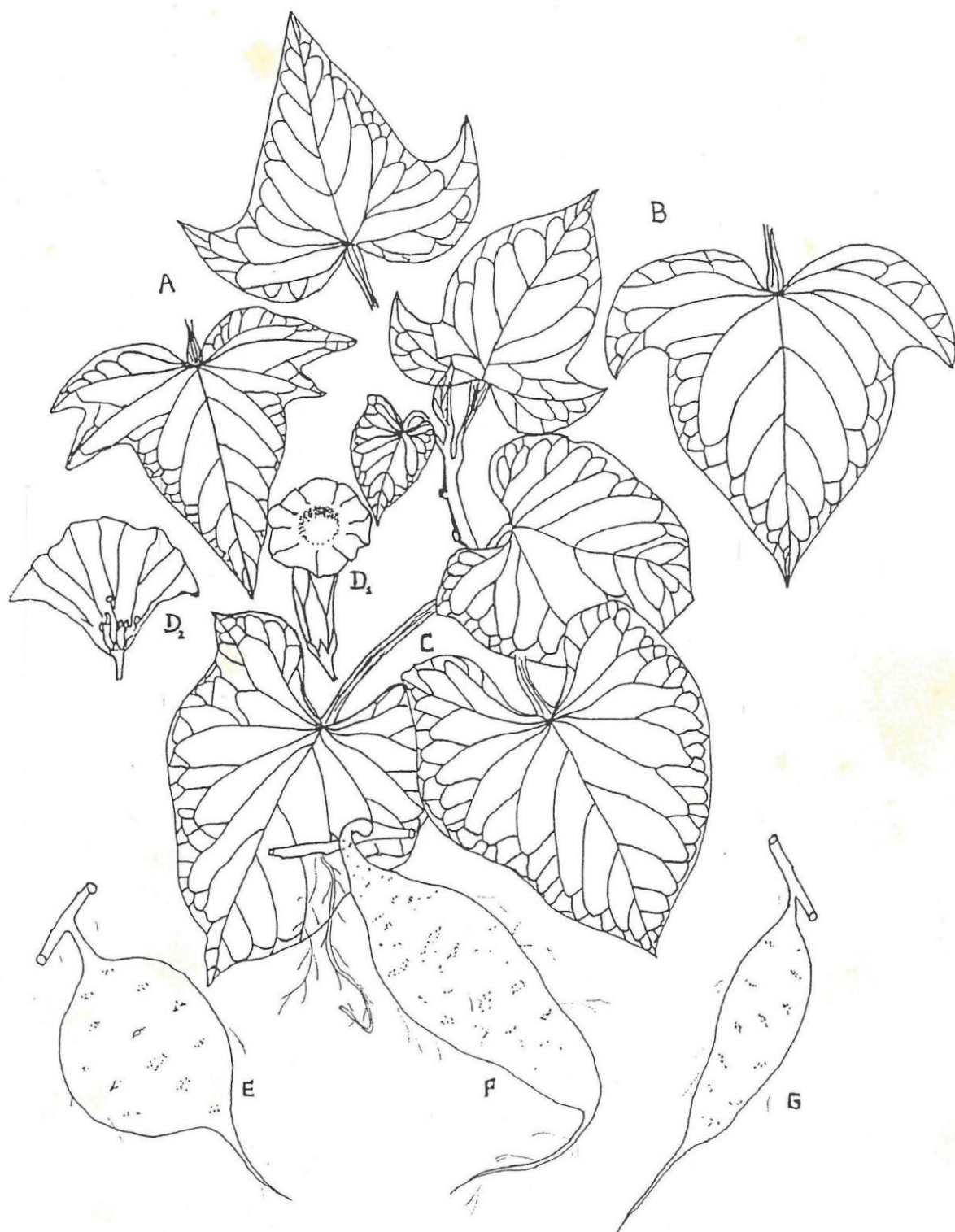
7. CONCLUSIONES

1. Los estadíos iniciales del proceso de engrosamiento presentan características diferenciales en su desarrollo, conducentes a la formación de raíces reservantes.
2. En el desarrollo de la raíz reservante, el proceso de engrosamiento es iniciado por la actividad meristemática anómala, que puede darse antes o después de completado el desarrollo del xilema primario.
3. Desde el punto de vista anatómico, las diferentes raíces producidas en el curso de la ontogenia del camote se pueden clasificar en : raíces jóvenes, que pueden ser delgadas o gruesas, y raíces adultas, que pueden ser fibrosas, reservantes y tipo lapicero.
4. En el desarrollo de la raíz reservante, la distribución de los cámbiumes anómalos, la producción de parénquima reservante y tejido vascular dan las diferencias en las variedades estudiadas.
5. Las características histológicas encontradas, tales como el grosor de la capa suberosa y el desarrollo de granos de almidón de mayores dimensiones, se mantienen estables en los diferentes estudios realizados y sugieren características que pueden considerarse como parámetros de selección en la evaluación de las variedades experimentales de camote.

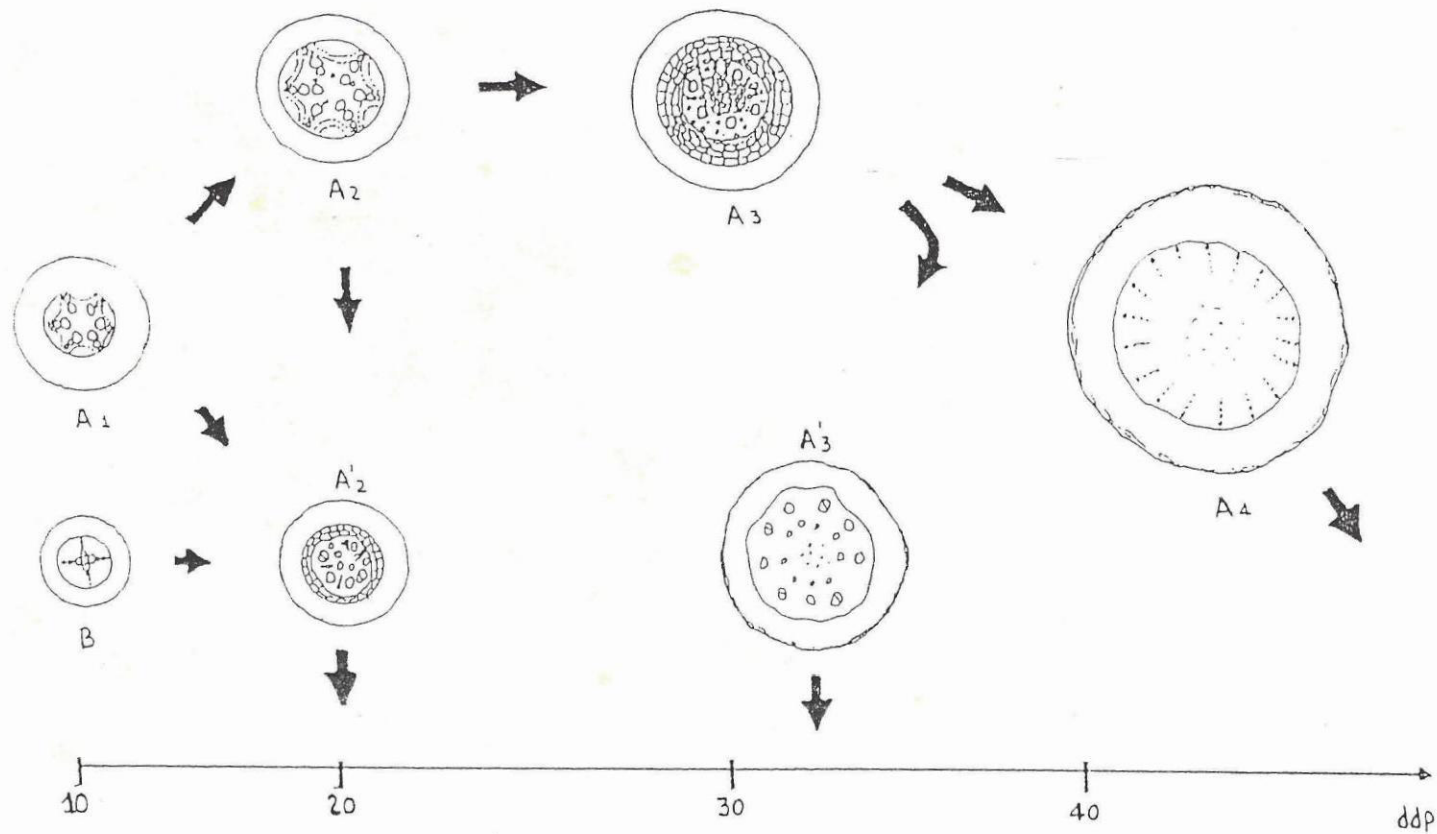
8. RECOMENDACIONES

1. Dado que no se pueden generalizar los resultados encontrados en el estudio de estas 3 variedades, se recomienda continuar con la caracterización de la raíz reservante, ampliando el número de variedades en estudio.
2. En la evaluación de los caracteres histológicos deben considerarse especialmente el desarrollo de la capa suberosa, dimensiones del almidón y producción de parénquima reservante por parte de la actividad meristemática anómala como caracteres resaltantes en la histología de la raíz.
3. Se propone la utilización de los caracteres anatómicos antes mencionados en la evaluación de las variedades experimentales de camote, dado que aquello permitiría un conocimiento más exacto de las raíces, lo que redundaría en la selección de mejores variedades de raíces reservantes.

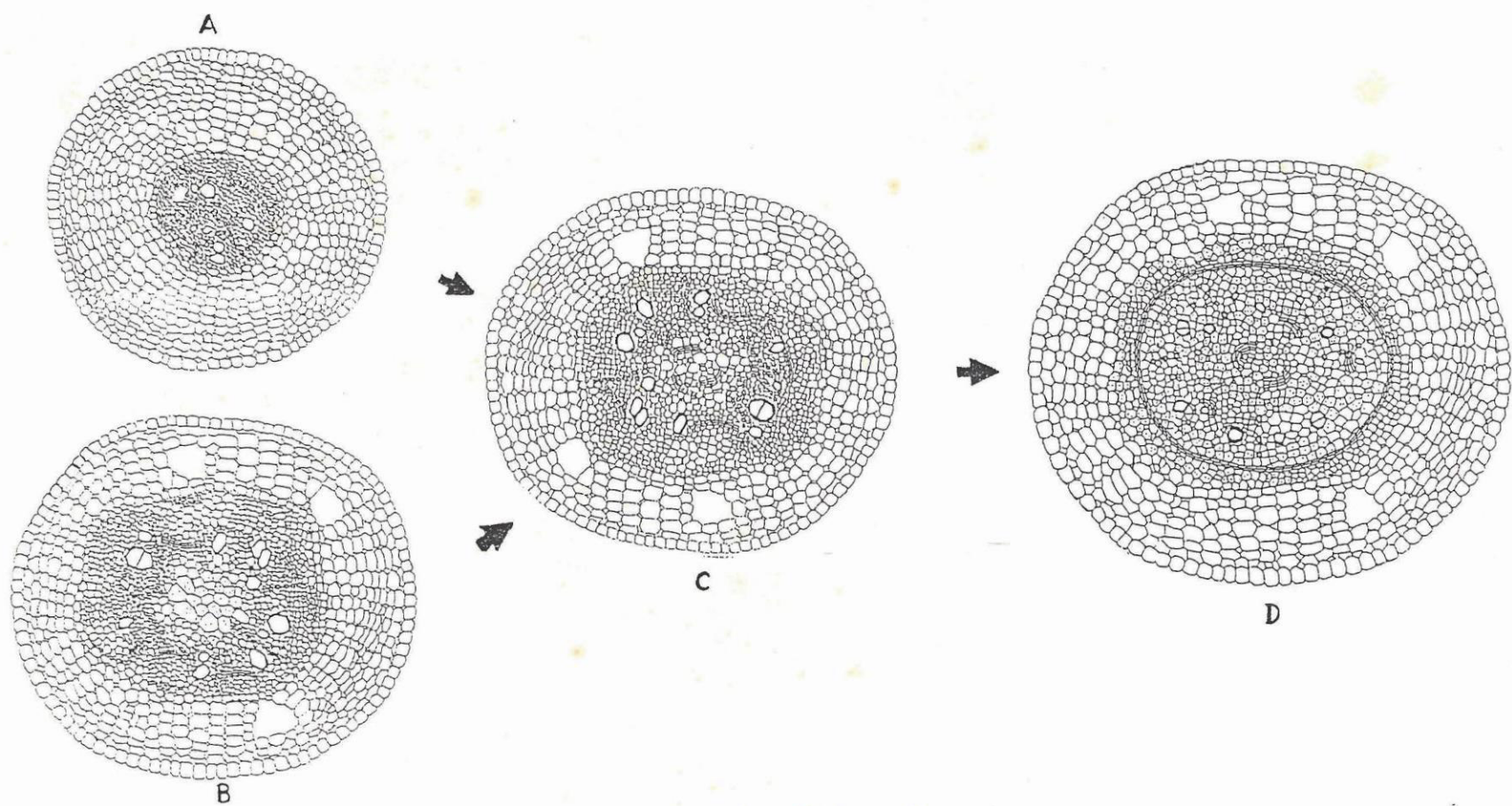
9. ILUSTRACIONES



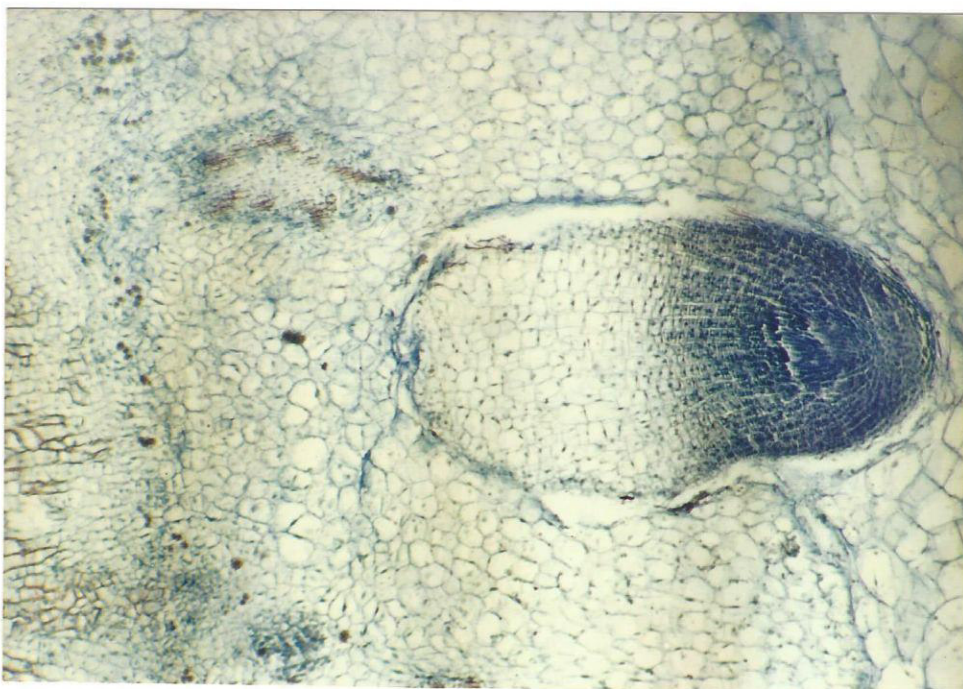
Esquema 1. El camote o batata, diagrama esquemático de las variedades estudiadas; A,B,C diferentes tipos de hojas, hastadas y acorazonadas; E,F,G raíces reservantes típicas; D1 y D2, detalles de la estructura floral. (A y F, variedad SR93.440; B y F, variedad Nacional; C y E, variedad Jewel.)



Esquema 2. Proceso de engrosamiento en las raíces de *Ipomoea batatas* y formación de raíces alternativas. A1, estructura primaria de raíz gruesa (<10 ddp); A2, estructura primaria de raíz gruesa (10-20 ddp); A3, inicio del engrosamiento, actividad del periciclo, del cambium vascular y actividad meristemática anómala; A4, transformación en raíz reservante; A'2, lignificación de la estela y formación de raíz fibrosa; A'3, frustración temprana del engrosamiento y formación de raíces tipo lapicero; B, raíz delgada de xilema tipo tetrarca.

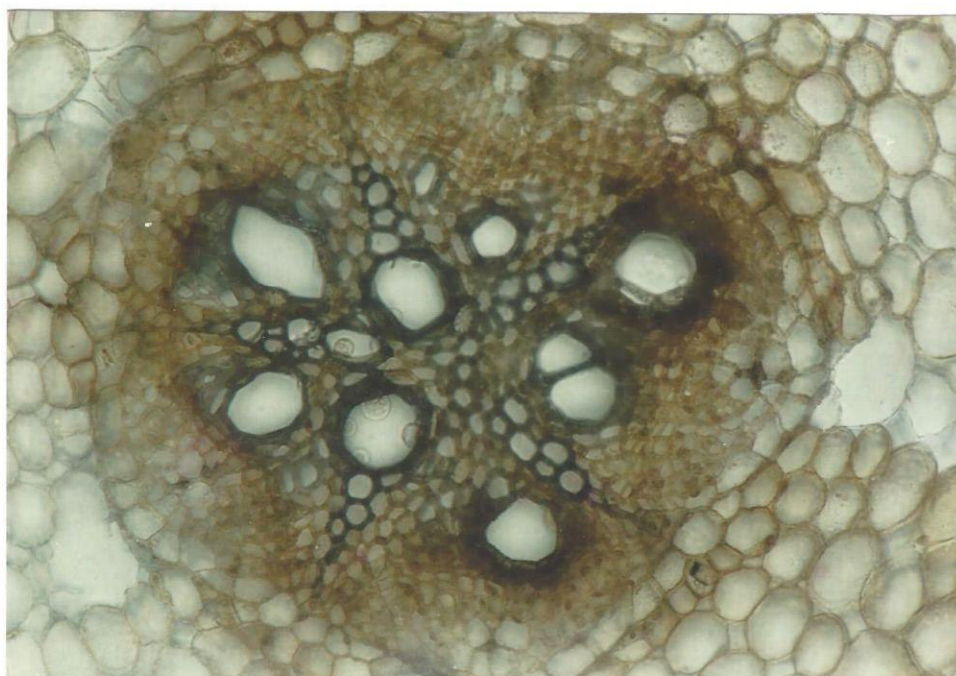


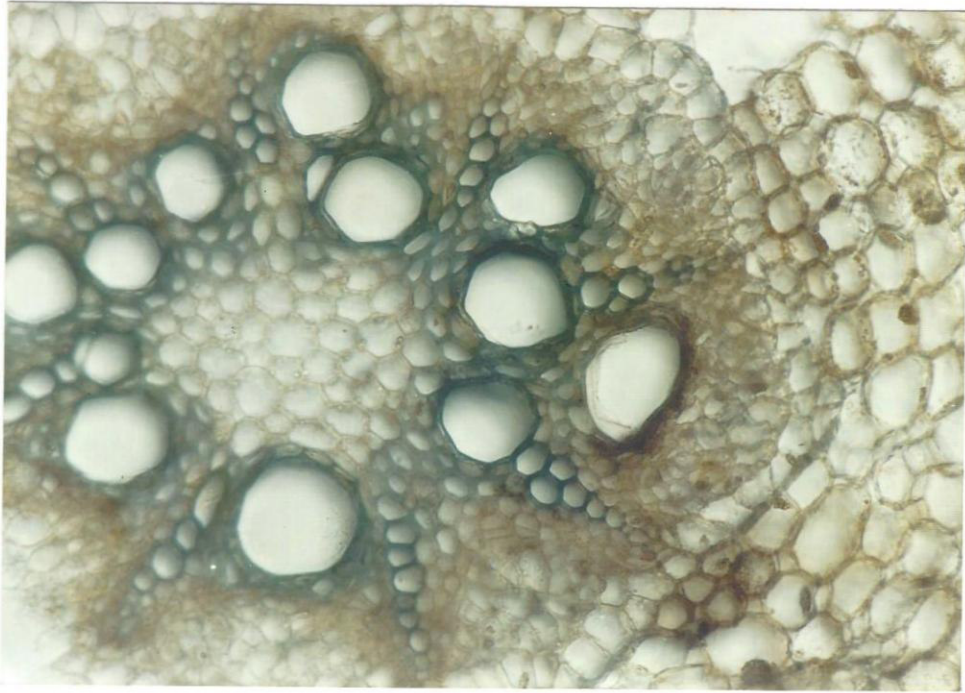
Esquema 3. Secuencia histológica del proceso de engrosamiento en *Ipomoea batatas* en los estadios iniciales. A, estructura de raíz con xilema de desarrollo completo, 10 ddp; B, estructura primaria de raíz con xilema de desarrollo incompleto y formación de médula, 10 ddp; C, desarrollo secundario, formación del cambium vascular e inicio de la actividad meristemática anómala en la médula, 20-30 ddp; D, estadio avanzado del engrosamiento (30 ddp). A la actividad del cambium vascular se suman la producción de tejido vascular y parénquima reservante por parte de los cámbiums secundarios.



Fotografía 1. Superior. Primordio radical situado en la corteza del tallo, a nivel del nudo de la variedad Jewel. Se observa la sección transversal de una conexión vascular de una raíz joven, en la parte inferior del primordio. 16 aumentos.

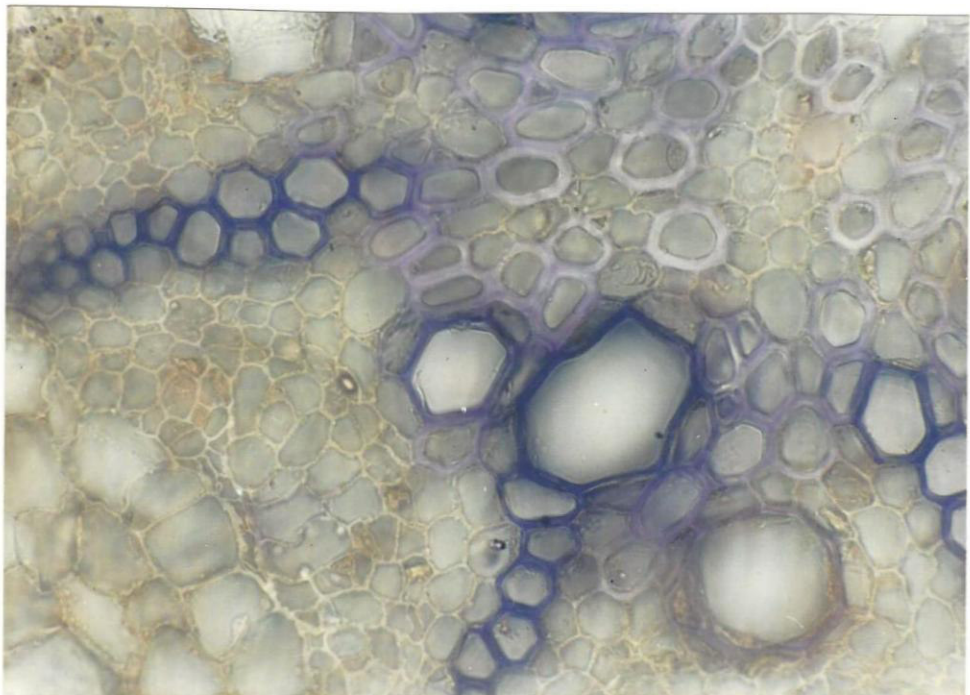
Fotografía 2. Inferior. Detalle de una estela de xilema pentarca de la raíz de la variedad Nacional (20 ddp), se observa el xilema completamente desarrollado y los característicos espacios esquizógenos en la corteza. 50 aumentos.





Fotografía 3. Superior. Detalle de la estela secundaria de la raíz de la variedad SR93.440, mostrando el desarrollo de la zona medular. 50 aumentos.

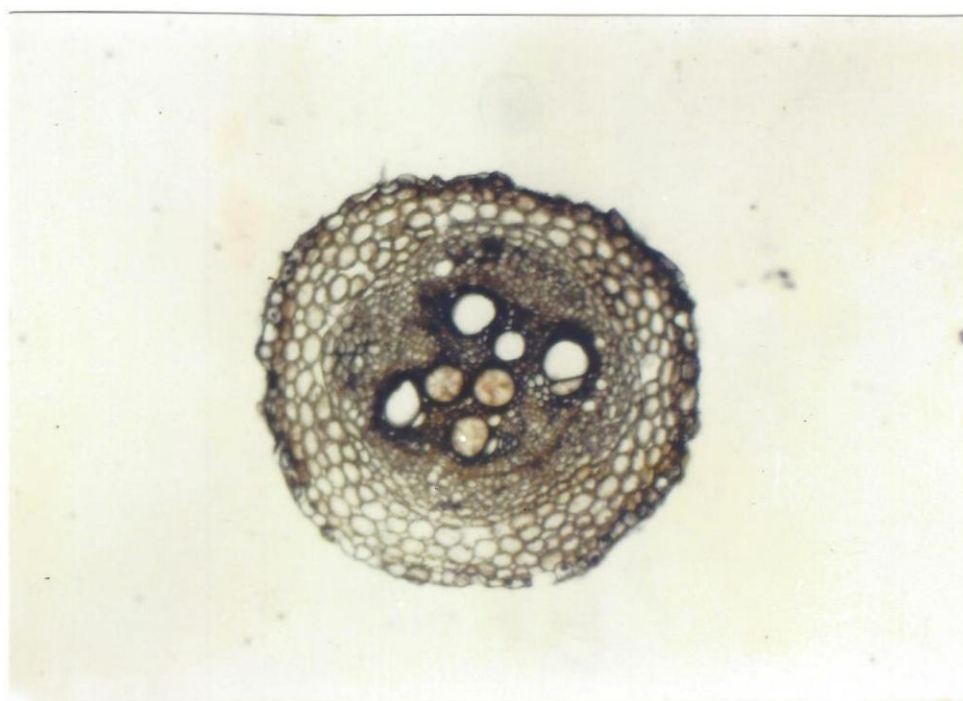
Fotografía 4. Inferior. Comienzo del desarrollo secundario en la variedad Nacional, se observa la formación del cambium vascular y la médula parcial representado por el grupo de células no lignificadas en el centro de la estela. 325 aumentos.





Fotografía 5. Superior. Sección transversal de la parte proximal de la raíz de la variedad Nacional (10 ddp), mostrando la temprana lignificación de la zona medular. 50 aumentos.

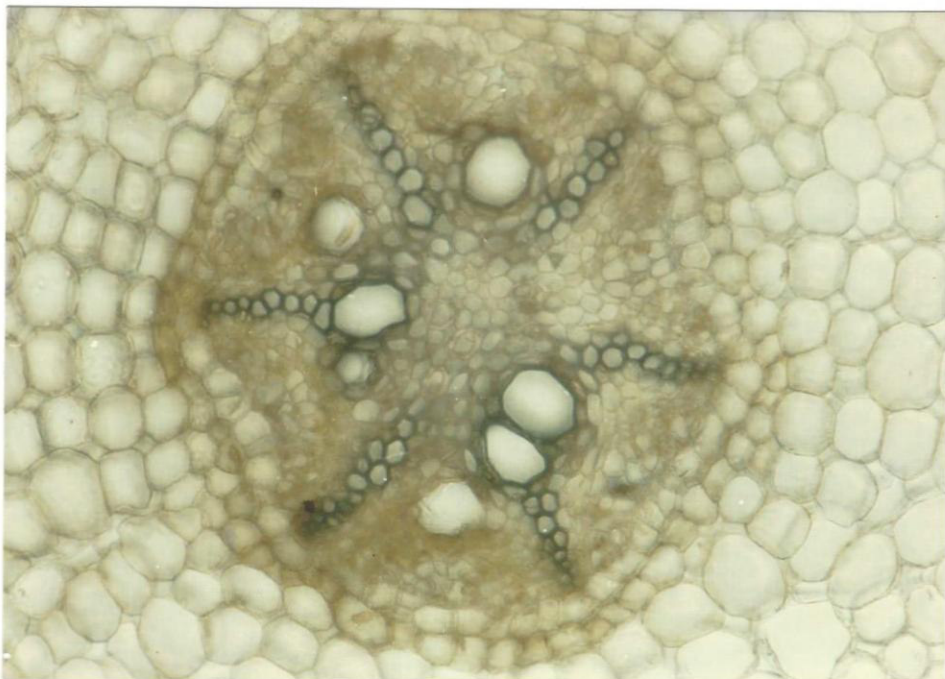
Fotografía 6. Inferior. Sección transversal de la parte distal de la raíz de la variedad Jewel. El desarrollo centrípeto del xilema se establece tempranamente (20 ddp.) y determina un desarrollo secundario en esa parte de la raíz. 16 aumentos.

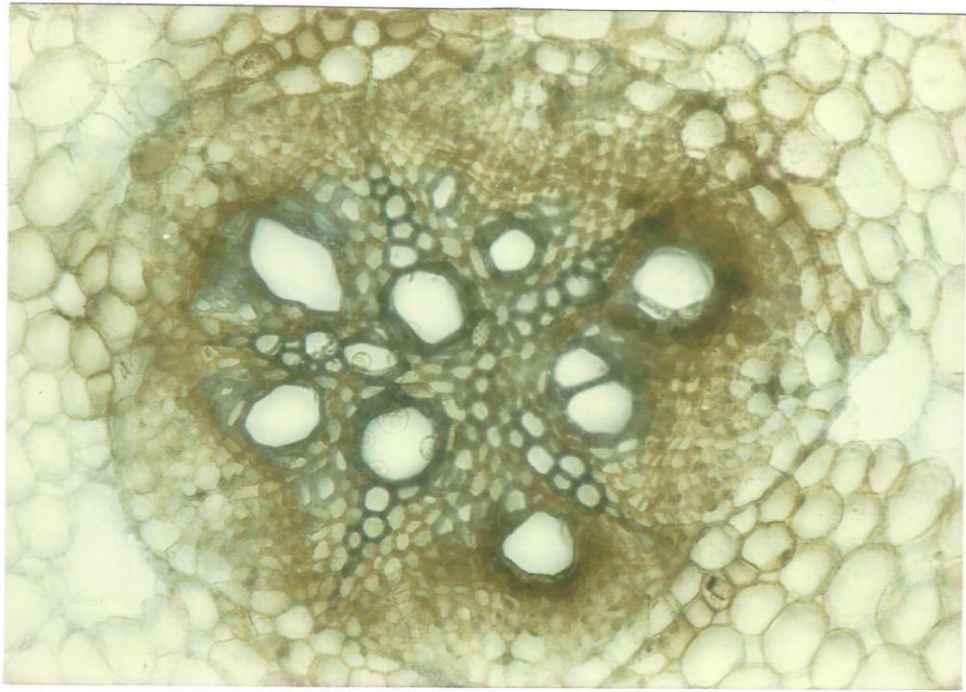




Fotografía 7. Superior. Detalle de la estela "abierta" en una raíz de la variedad Nacional (20 ddp). Las células medulares se han conectado con la actividad del naciente cambium vascular. 50 aumentos.

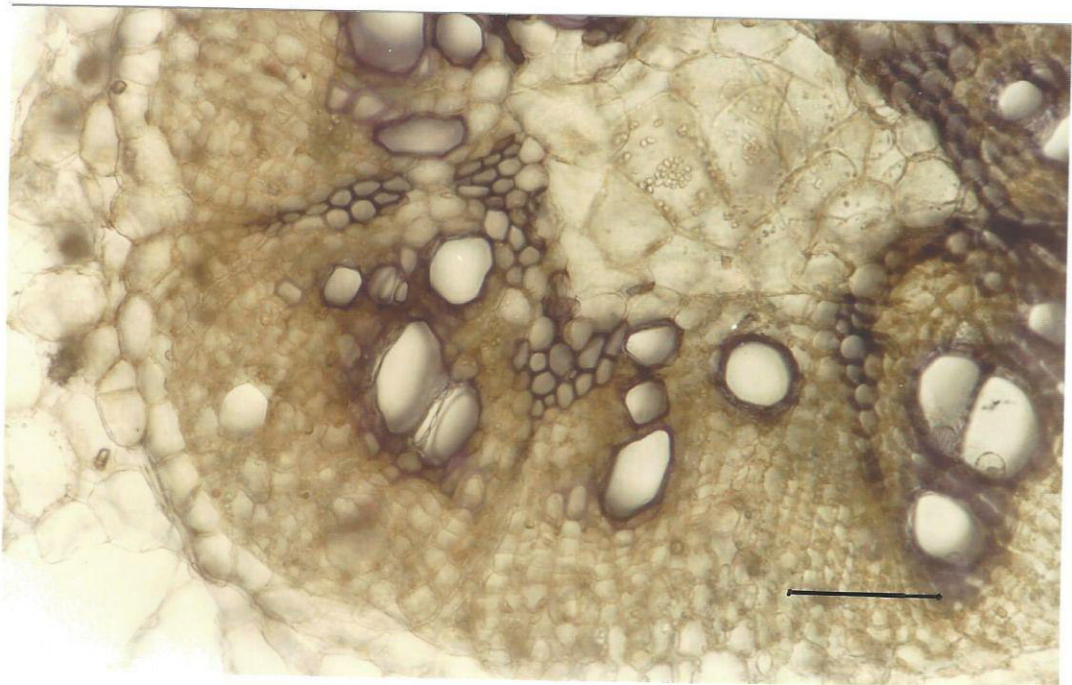
Fotografía 8. Inferior. Detalle de la estela primaria de xilema hexarca de la variedad Nacional (10 ddp) mostrando la médula parcial en contacto con el área floemática. 50 aumentos.

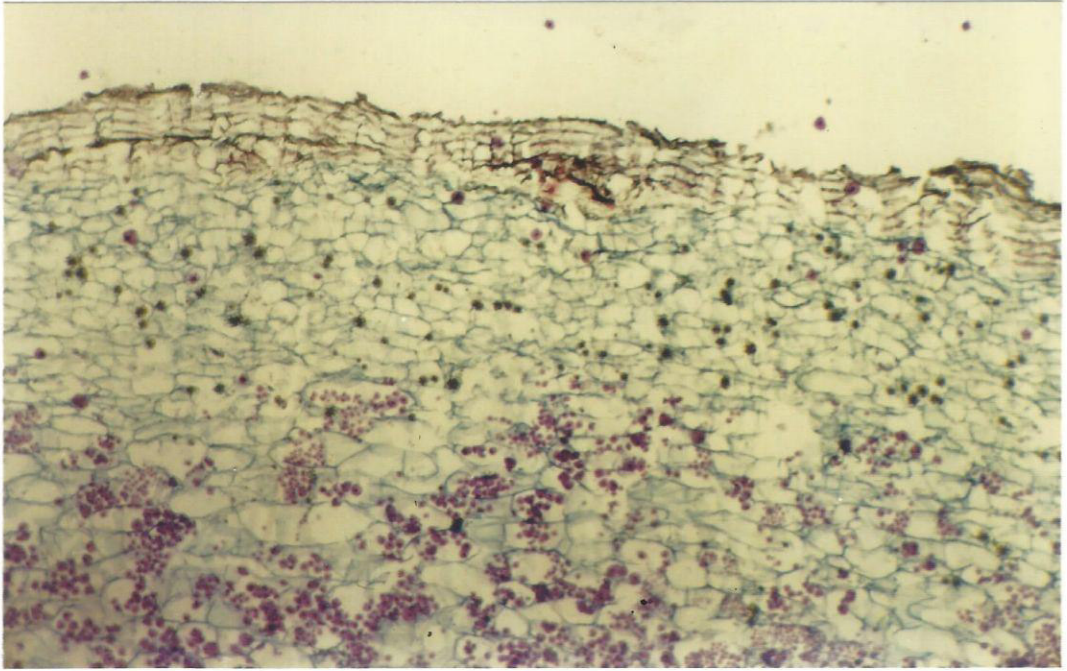




Fotografía 9. Superior. Comienzo del desarrollo secundario. La actividad del periciclo comienza a presionar a la endodermis. Se observa el colapso de un vaso laticífero primario. Variedad Nacional, 325 aumentos.

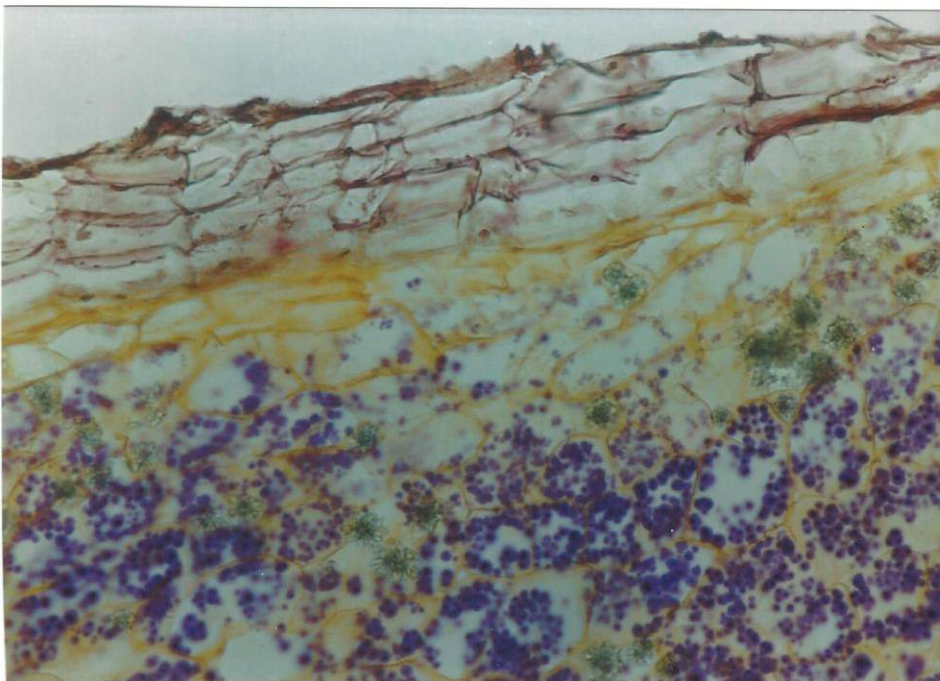
Fotografía 10. Inferior. Desarrollo de una médula prominente en una raíz de la variedad Nacional (20 ddp). Se observa los granos de almidón en las células medulares. 50 aumentos.

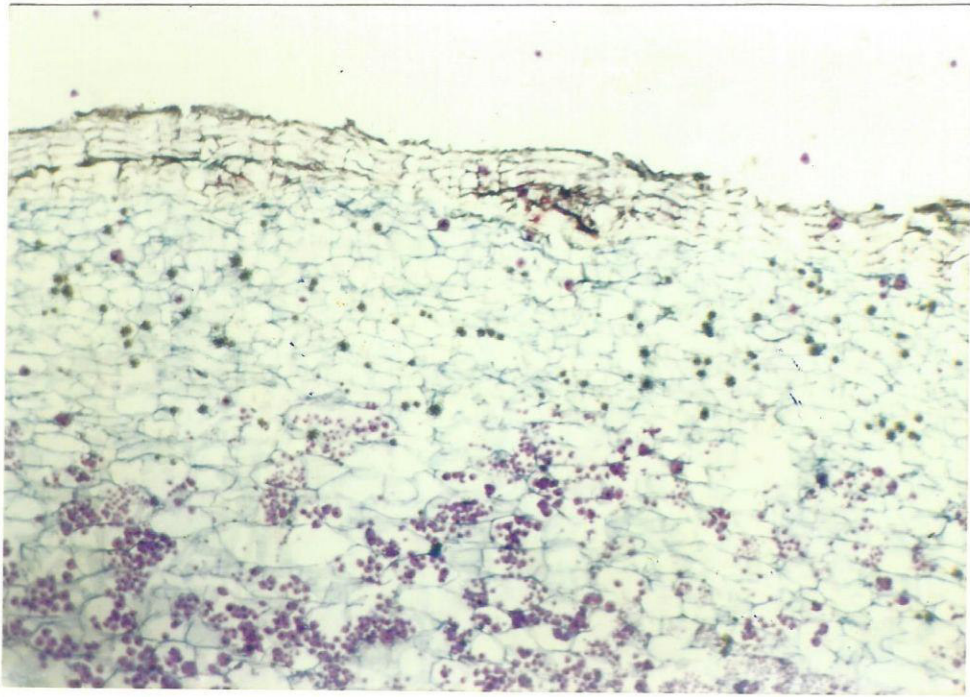




Fotografía 11. Superior. Desarrollo incipiente de la peridermis en la raíz reservante de la variedad Jewel (70 ddp). Se observa las drusas en la corteza secundaria externa, carente de granos de almidón. 50 aumentos.

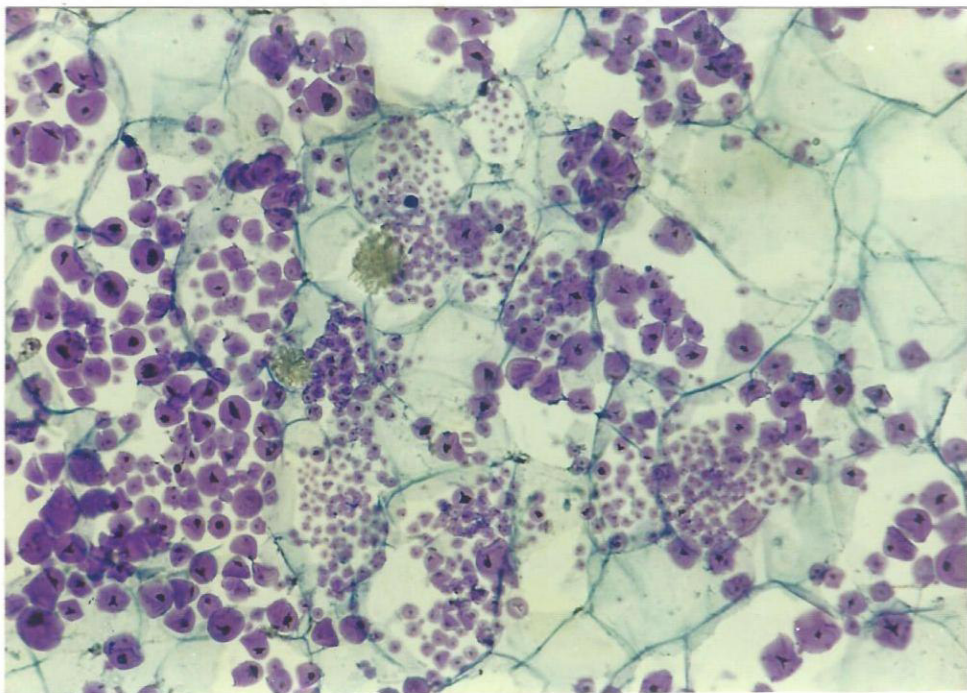
Fotografía 12. Inferior. Desarrollo de la peridermis en la raíz reservante de la variedad Jewel (90 ddp). Se observa en las células de la corteza los característicos cristales de oxalato de calcio, junto a los granos de almidón. 50 aumentos.

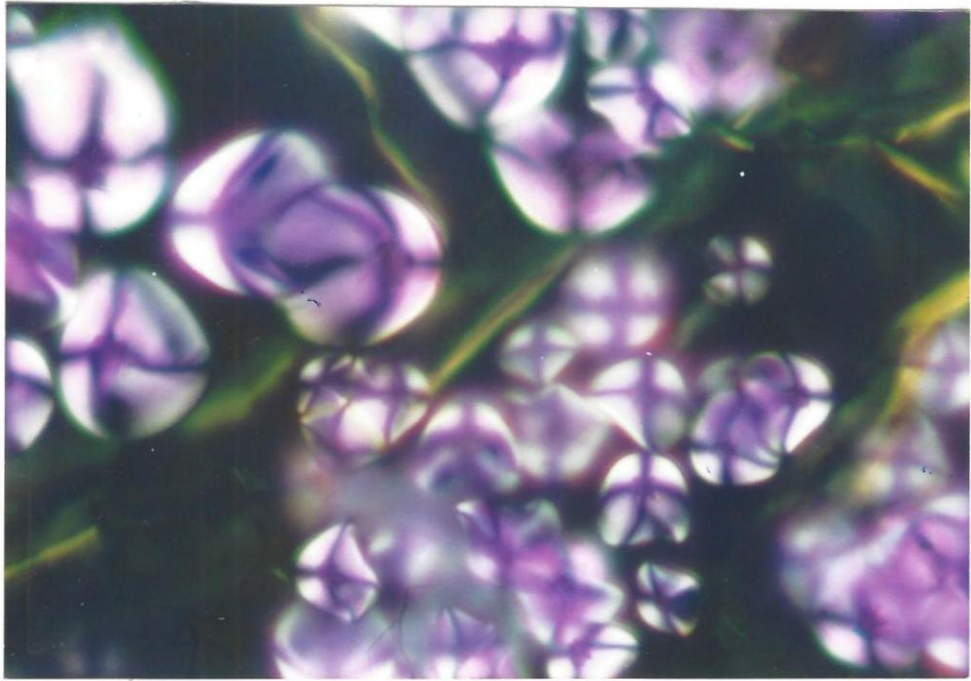




Fotografía 13. Superior. Desarrollo de la peridermis en la raíz reservante de la variedad Nacional (70 ddp). Los granos de almidón se concentran en la zona cortical adyacente al cambium vascular. 16 aumentos.

Fotografía 14. Inferior. Granos de almidón en la zona medular de la raíz reservante de la variedad Nacional (70 ddp). 325 aumentos.

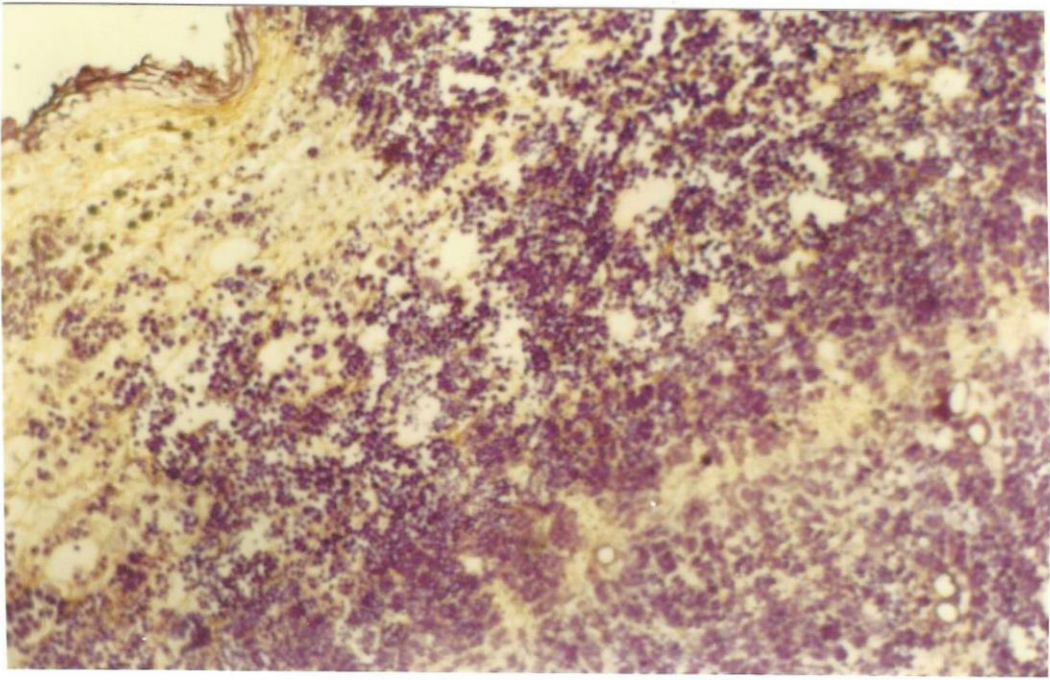




Fotografía 14 a. Superior. Comportamiento de los granos de almidón frente a la luz polarizada en la zona cortical adyacente al cambium vascular, variedad Nacional. 900 aumentos.

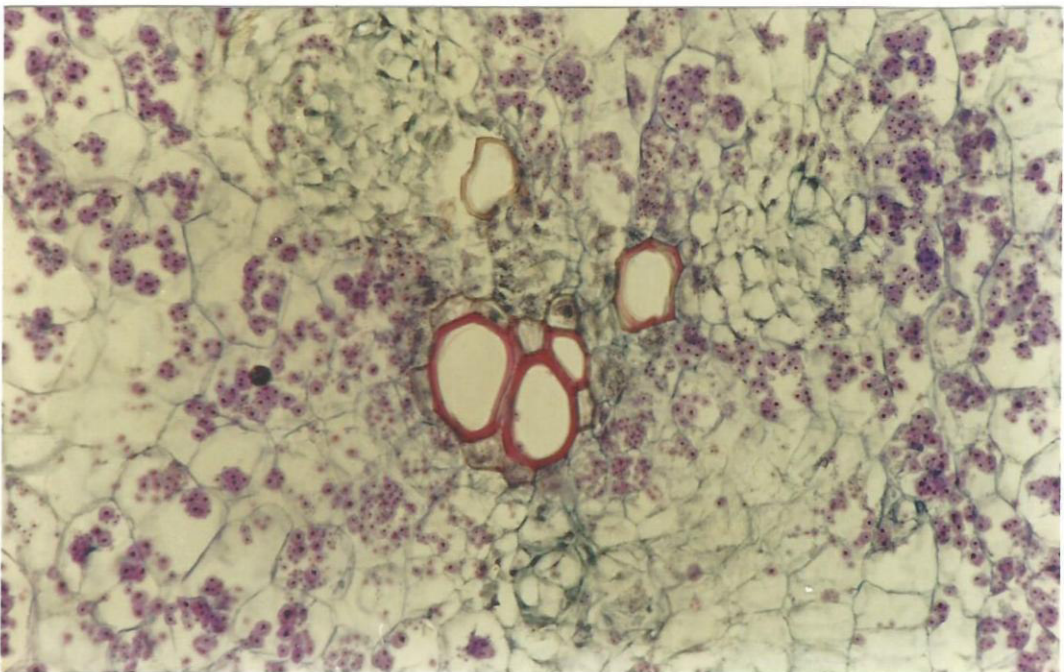
Fotografía 15. Inferior. Desarrollo de la peridermis y corteza secundaria de una raíz tipo lapicero de la variedad experimental SR93.440 (90 ddp). 50 aumentos.





Fotografía 16. Superior. Desarrollo secundario de la raíz de la variedad experimental SR93.440. (30 ddp) . 16 aumentos.

Fotografía 17. Inferior. Desarrollo de la actividad cambial secundaria (anómala) en torno a los vasos xilemáticos en el centro de la médula de la raíz reservante de la variedad Jewel. 325 aumentos.



10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Achata, A. y Fano, H. (1990). El Camote en la costa peruana; el caso del valle de Cañete. En Sistemas alimentarios. Serie de Investigación n° 5. INIA- CIP. Lima.
- Arstchwager, E. (1924) The anatomy of the sweet potato with notes on internal breakdown. j. agric. res. Washington, D.F. USA.
- Austin, D.F. (1988). The Taxonomy, Evolution and Genetic Diversity of Sweet potato and related wild species. p. 27-59. In Intern. Potato Center (CIP) 1988. Exploration, Maintenance and Utilization of Sweet potato Resources. proc. planing conf. CIP. Lima, Perú.
- Berlyn G. and Miksche, J. (1976). Botanical Microtechnique and Citochemistry. 1ra Ed. the Iowa State University press. Ames, Iowa. USA.
- Bouwkamp, J. and Kays, S. (1985). Sweetpotato Products. A natural resource for the tropics. Bouwkamp, J. CRC Press-inc. Eds. Boca Raton, Fl. USA.
- Buendía, Susana. (1993). Evaluación del germoplasma de camote (**Ipomoea batatas** (L.) Lam.) con fines de selección en el desarrollo de un programa de mejoramiento por adaptación y rendimiento. Tesis M.Sc. U.N.A.L.M. Lima.
- Cascon, S.C., Carvalho, M.P., Moura, L. (1984). Natural colorants from purple sweetpotato for use in foods. In Embrapa, Cent. Tecnol. Agric. Aliment. N° 9, 25p.
- Clark, C.A. y Moyer, J.W. (1991) Compendio de enfermedades de la batata (camote, boniato). Publ. CIP. 96 p. Lima.
- Decheco, E.A. (1993). Evaluación del grado de resistencia relativa de clones de

camote al gorgojo **Eucepes post-facciatius** (Fairmaire) (Coleoptera: Curculionidae) bajo condiciones de campo y laboratorio. Tesis M.Sc.Publ.CIP. Lima.

Esau, K. (1977) Anatomy of seed plants. John Wiley & sons. eds. 2nd. edition. New York. USA.

FAO, (1993). Yearbook. Colecc. FAO, Estad. n° 117.

Grace Sirju-charran. (1983). Some biochemicals parameters associated with the tuberisation of sweet potato (**Ipomoea batatas** L. Lam.). In proc. Caribbean regional workshop on tropical root crops. Jamaica, Abril 10-16.

Hahn, S.K. and Hozyo, Y. (1983). Sweetpotato and Yam. In potential productivity of field crops under different environments symposium. public. IRRI. Manila. Philippines.

Hayward, H.E. (1938) Convolvulaceae : *Ipomoea batatas*. in structure of economics plants. Mc Millan ed. New York. 485-513 p.

Huaman, Z. (1992) Systematic botany morphology of sweet potato plant. tech. infor. bull. no 25 CIP.

Ito, K. (1947) A fundamental study of the formation of the sweet potato tuber. In J. Horti. Assoc. Japan 16 :1.

Johansen, D.A. (1940) Plant microtechnique. Mc Graw Hill ed. New York. USA.

Kays, S., Collins, W., and Bouwkamp, J. (1991). Is the Sweetpotato storage organ a root or tuber?. In the sweetpotato in the 21 th. century. second intern. sympo. in sweetpotato. Montgomery, AL. USA.

- Kays, S.J. (1992) The chemical composition of the Sweetpotato; In Sweetpotato technology for the 21 st. century. W.A. Hills, c.K. Bonsi (eds.) Tuskegee University, AL. E.U.A.
- Larenas, V. y López, H. (1994). Introducción, selección y comercialización de nuevas variedades de Batata en Chile. Publ. INIA, Chile - CIP.
- Lowe, S.B. and Wilson, L. (1974) Comparative analyses of tuber development in six sweet potato (**Ipomoea batatas** (L.) Lam.) cultivars. 1. Tuber initiation, tuber growth and partition of assimilates. In Ann. Bot. (London) (N.S.) 38 :307-317.
- Madamba, L., Bustrillos, A., San Pedro, E. (1975) Sweetpotato starch: physicochemical properties of the whole starch. In philipp. agric. 58 (9-10): 338-350.
- Matsuo, T., Mitsuzono, H., Okada, R., Itoo, S. (1988). Variation in the levels of major free cytokinins and the abscisic acid during tuber development of sweet potato. In Journal of plant growth regulation (USA) 7 : 249-258.
- Matsuo, T., Yoneda, T. and Itoo, S. (1983). Identification of free cytokinins and the changes in endogenous levels during tuber development of sweet potato. In Plant Cell. Physiolg. 24 : 1305-1312.
- Marín, Manuel. (1994). Aspectos preliminares de la caracterización histológica de la raíz reservante de la **Ipomoea batatas** L. Lam. En VI Congr. de jóvenes científicos. Univ. Cayetano Heredia, 1-5 Marzo. Lima.
- Metcalf, C.R. and Chalk. (1950). Anatomy of the Dicotyledons. 2 vols. Oxford, Clarendon press. U.K.
- Montaldo, Alvaro. (1991). Cultivo de raíces y tuberculos tropicales. 2da. ed. Inst. Interamer. de cooperación para la agricultura.(IICA). San José, Costa Rica.

Ojijo, N.K.O. (1991). Objective evaluation of quality changes in stored sweetpotato. Tesis M.Sc. University of Nairobi. Publ. CIP. Lima.

Purseglove, J.W. (1987). Sweet potato. In Tropicals Crops - Dicotyledons. Longman group limited eds. 1ra. ed. P.78-88. Singapore.

Schalk, J.M. & Peterson, J.K. (1986) The anatomy of sweetpotato periderm and relationship to wireworm, *Diabrotica* y *Systema* resistance. in j. agric. entomolg. (USA) 3 (4) 350- 356 p.

Scott Russell, R.S. (1977). Plant Root System. Their function and interaction with the soil. Mc Graw Hill Book Company limited eds. London, U.K.

Suni, M. y Marín, M. (1994). Characterization of high yielding clones of sweetpotatoes. In 10 th. Symposium of the International Society for Tropical Root Crops, ISTRC. Nov. 13-19. Salvador, Bahia. Brasil.

Wareing, P.F. and Phillips, I.D. (1981). Growth and Differentiation in plants. Third edition. Pergamon press eds. Oxford, England.

Wilson, L.A. (1982) Tuberization in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam. In proc. first. int. symp. AVRC. China.

Wilson, L.A. (1970) The process of tuberization in sweet potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam. proc. inter. trop. root crops. 2 : 24-26.

Wilson, L.A. and Lowe, S.B. (1973) The anatomy of the root system in west indian sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam. cultivars. in ann. bot. (London) ns 37 633- 643.

Wilson, L. and Wickham, L.D. (1991). News perspectives on tuberization in sweet

potatoes. pp. In sweetpotato technology in the 21 th century. Montgomery, Al. USA.

Zuincho, Ramos, O. (1990). Inventario de enfermedades y plagas insectiles en el cultivo del Camote (**Ipomoea batatas** (L.) Lam.) en el ex-fundo "El Milagro", San Ramón. Tesis Ing. Agron. Univ. Nac. Centro del Perú.

11. ANEXOS

11.1 TABLAS

Tabla 1. Variación en el diámetro (mm) de raíces gruesas de. las variedades evaluadas durante el primer mes de desarrollo. Datos promedios

| Variedad / ddp | 10 | 20 | 30 |
|----------------|-------------|-------------|-------------|
| Nacional | 1,11 ± 0,19 | 1,28 ± 0,28 | 2,21 ± 0,88 |
| Jewel | 0,75 ± 0,10 | 1,05 ± 0,12 | 2,37 ± 0,88 |
| SR93.440 | 1,20 ± 0,19 | 1,30 ± 0,23 | 2,05 ± 0,02 |

Tabla 2. Dimensiones celulares (um) del parénquima en las diferentes partes de la raíz reservante de las variedades evaluadas (90 ddp). Los datos de la variedad SR93.440 son referidos a raíces tipo lapicero.

| VARIETADES | MEDULA INTERNA | MEDULA EXTERNA | CORTEZA INTERNA | CORTEZA EXTERNA |
|------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| NACIONAL | 137.9 ± 25.8 | 104.8 ± 24.1 | 110.8 ± 11.5 | 132.9 ± 16.3 |
| JEWEL | 125.7 ± 21.1 | 81.7 ± 07.3 | 104.5 ± 20.4 | 131.6 ± 17.8 |
| SR93.440 | 117.3 ± 25.7 | 108.6 ± 26.8 | 78.9 ± 13.7 | 17.7 ± 09.8 |

Tabla 3. Desarrollo del diámetro, las dimensiones celulares del parénquima y granos de almidón de las raíces reservantes de las variedades evaluadas a los 90 ddp. Los datos de la variedad SR93.440 son referidos a raíces tipo lapicero.

| VARIEDAD | DIAMETRO RAIZ RESERVANTE(mm) | DIAMETRO CELS MEDULARES(um) | DIAMETRO ALMIDON(um) |
|----------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| NACIONAL | 49.5 ± 7.6 | 121.3 ± 32.4 | 30.7 ± 9.8 |
| JEWEL | 43.2 ± 2.5 | 103.7 ± 31.1 | 14.6 ± 0.1 |
| SR93440 | 8.1 ± 7.4 | 112.9 ± 6.1 | 24.4 ± 0.01 |

Tabla 4. Desarrollo de los componentes de la peridermis a lo largo del período de crecimiento de las variedades evaluadas. los valores de la variedad SR93.440 corresponden a raíces tipo lapicero. Período Marzo - Junio de 1995.

| VARIEDAD | GROSOR CAPA SUBEROSA (um) | DIAMETRO CEL SUBEROSA (um) | N°CAPAS CELS. SUBER. |
|----------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| NACIONAL | 150.3 ± 57.4 | 29.3 ± 2.9 | 4.5 ± 2.9 |
| JEWEL | 106.9 ± 14.0 | 24.7 ± 3.6 | 3.6 ± 1.1 |
| SR93.440 | 100.2 ± 5.3 | 25.3 ± 4.5 | 2.8 ± 0.5 |

Tabla 5. Características morfológicas de las raíces reservantes de las variedades evaluadas

| VARIEDADES | NACIONAL | JEWEL | SR93.440 |
|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| FORMA | REDONDO ELIPTICA | REDONDA | REDONDO ELIPTICA |
| COLOR DE LA CAPA SUBEROSA | MARRON CLARO | ANARANJADO CLARO | MORADO |
| COLOR DE LA MEDULA | BLANCO | ANARANJADO | MORADO |

Tabla 6. Variación en los parámetros climáticos, Temperatura (° C) y Humedad Relativa (%) durante el desarrollo de las variedades en La Molina (12°05' LS) y San Ramón (11°08'LS). Período Enero - Junio de 1995.

| MESES | LA MOLINA * | | | | SAN RAMON ** | | | |
|---------|-------------|---------|----------|-----------|--------------|---------|----------|----------|
| | T.MAX. | T. MIN. | T. PROM. | HR. PROM. | T. MAX. | T. MIN. | T. PROM. | HR. PROM |
| ENERO | 27.8 | 20.5 | 23.4 | 83.7 | 32.0 | 20.0 | 23.9 | 37.4 |
| FEBRERO | 28.5 | 20.3 | 23.8 | 79.9 | 32.1 | 20.1 | 24.2 | 36.8 |
| MARZO | 28.4 | 19.4 | 23.3 | 72.0 | 31.9 | 19.7 | 23.6 | 38.8 |
| ABRIL | 25.7 | 16.7 | 21.7 | 69.7 | 32.3 | 20.2 | 24.0 | 39.3 |
| MAYO | 24.3 | 15.2 | 19.5 | 74.2 | - | - | - | - |
| JUNIO | 20.9 | 14.3 | 15.6 | 80.7 | - | - | - | - |

• Período vegetativo Febrero - Junio ** Período vegetativo Enero - Abril.

11.2 GRAFICOS

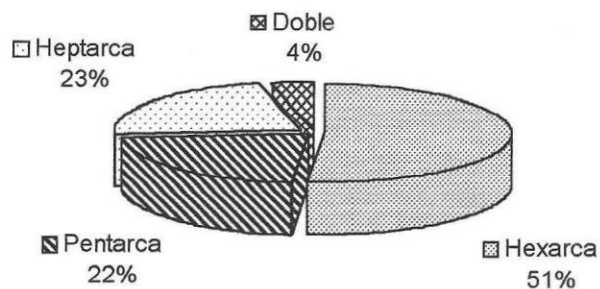


Figura 1. Tipos de estelas producidas expresadas como porcentaje del total de raíces evaluadas en las 3 variedades. Evaluaciones 1 y 2.

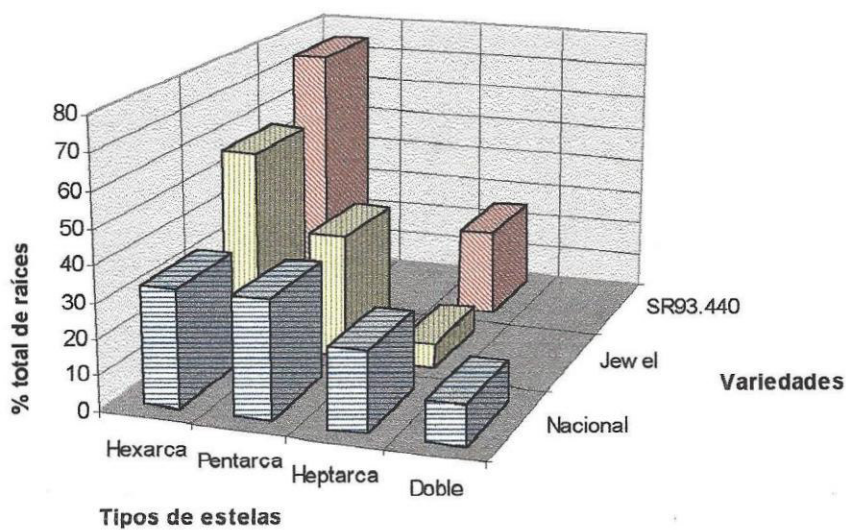


Figura 2. Tipos de estelas producidas por las diferentes variedades, expresadas como porcentaje del total de raíces evaluadas. Evaluaciones 1 y 2

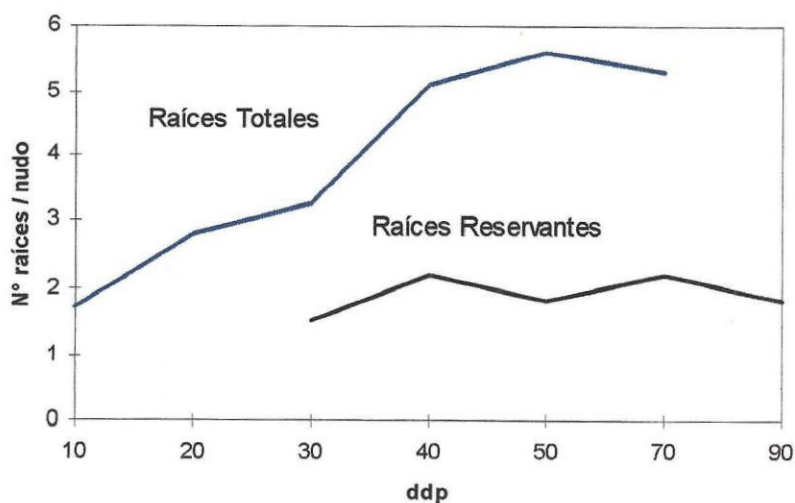


Figura 3. Variación promedio de el número de raíces de las variedades evaluadas. Período Febrero-Junio de 1995.

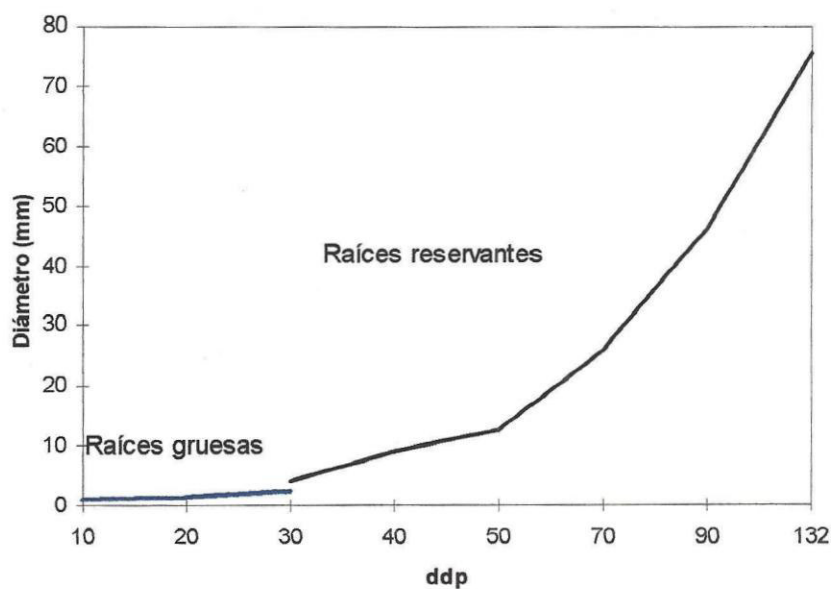


Figura 4. Variación promedio del diámetro de las raíces gruesas y reservantes de las variedades evaluadas. Período Febrero - Junio de 1995

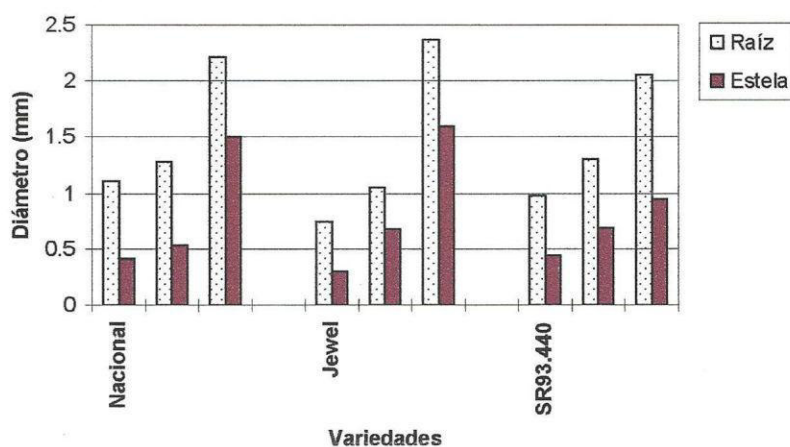


Figura 5. Variación promedio de el diámetro de la estela de raíces de las variedades evaluadas durante el primer mes de desarrollo (10, 20 y 30 ddp)

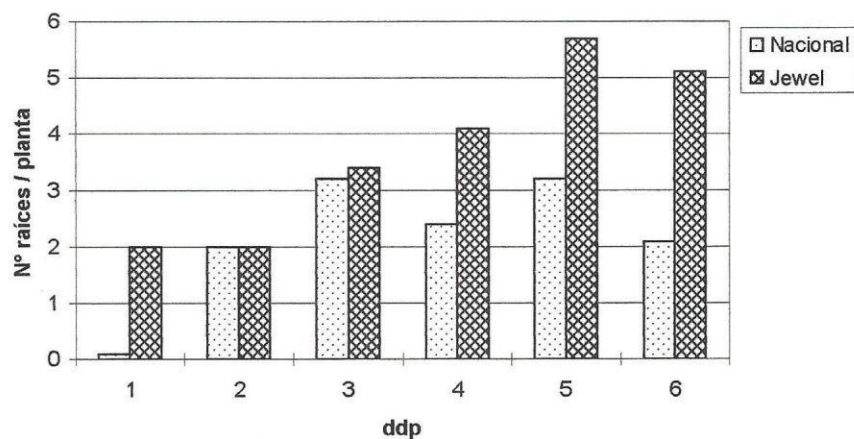


Figura 6. Variación de el número de raíces reservantes producidas por las variedades Nacional y Jewel. Período Marzo - Junio de 1995

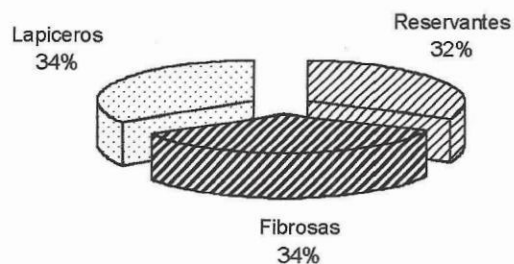


Figura 7. Producción de los diferentes tipos de raíces, expresados como porcentaje del total de raíces evaluadas en las 3 variedades a los 90 ddp.

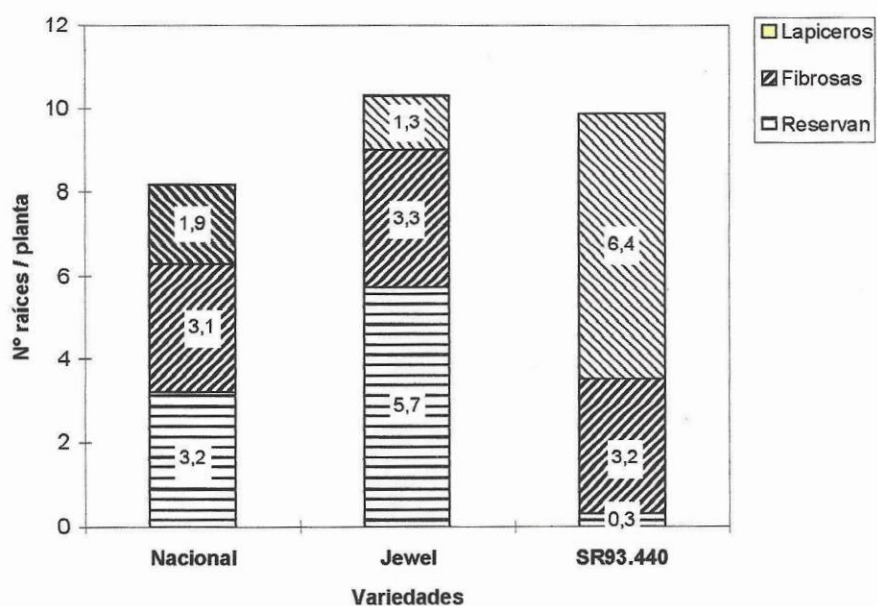


Figura 8. Proporción de los diferentes tipos de raíces producidas por las variedades evaluadas a los 90 ddp.